ALLGEMEINE PALAEONTOLOGIE: GEOLOGISCHE FRAGEN IN BIOLOGISCHER...

Johannes Walther



Geol.


The University of Chicago
Libraries
Crescat scientia
Vita excolatur

Allgemeine Palaeontologie

Geologische Fragen in biologischer Betrachtung

von

Johannes Walther
Professor der Geologie und Palaeontologie

Mit 2 Tafeln und 5 Karten im Text

Berlin
Verlag von Gebrüder Borntraeger
W 35 Schöneberger Ufer 12a
1927



Buchdruckerei des Waisenhauses in Halle a. d. S.

Gesamt-Inhaltsverzeichnis

Jedem Teil ist ein besonderes Inhaltsverzeichnis beigegeben.



Allgemeine Palaeontologie

Geologische Probleme in biologischer Betrachtung

von

Johannes Walther
Professor der Geologie und Palaeontologie
an der Universität Halle

I. Teil: Die Fossilien
als Einschlüsse der Gesteine

Berlin
Verlag von Gebrüder Borntraeger
W 35 Schöneberger Ufer 12 a
1919

Buchdruckerei des Waisenhauses in Halle a. d. S.

Inhalt

I. Die Fossilien als Einschlüsse der Gesteine

Vorwort

Die Geologie ist eine biologische und historische Wissenschaft; das gilt vornehmlich von dem für ihre Methoden und Ziele entscheidenden Teilgebiet, der Lehre vom Leben der Vorzeit oder der Paläontologie. Biologisch arbeiten wir, wenn wir eine fossile Flora oder Fauna bestimmen; historisch gehen wir vor, wenn wir das Liegende vom Hangenden einer Gesteinsmasse unterscheiden; biologische Gesichtspunkte legen wir unserer Forschung zugrunde, wenn wir eine Schichtenfolge gliedern; biologisch denken wir, wenn wir die Verbreitung eines Fossils in Raum und Zeit, sein sprunghaftes Auftreten, sein plötzliches Verschwinden verfolgen oder eine weitreichende Transgression untersuchen, und unser letztes Ziel, „die Geschichte des Lebens auf der Erde“ zu ergründen, ist ein biologisch-historisches Problem.

Eine geologische Karte scheidet zwar die Magmagesteine und die kristallinen Schiefer nach ihrem Mineralgehalt, aber selbst wenn man Melaphyr von Basalt trennt oder ein Gestein als Mesodiabas benennt, beruht diese Bestimmung nicht auf Mineralien, sondern konnte nur mit den in benachbarten Sedimenten enthaltenen Fossilien entschieden werden. Alle anderen Farben auf den geologischen Karten aber bezeichnen die biologische Verbreitung gleichzeitig oder nacheinander lebender Organismen. Wenn wir mit ihrer Hilfe den inneren Bau eines gewaltigen Gebirgslandes enträtseln oder auch nur die Entstehungszeit einer Verwerfung feststellen, so bedienen wir uns historischer Methoden.

Viele geologische Diskussionen sind nur deshalb ergebnislos verlaufen, zahlreiche wichtige Probleme nur deshalb nicht in Angriff genommen worden, weil man „anorganisch“ dachte und mit den Methoden abiologischer Wissenschaften, mit physikalischen Schulversuchen oder mathematischen Berechnungen, ein Problem des fließenden Lebens zu lösen versuchte.

Die Fossilien sind also nicht leblose „Denkmünzen“, sondern organisch entstandene Teile von Lebewesen, deren Verbreitung von biologischen Umständen bedingt war. Sie wuchsen nicht als „Lusus Naturae“ in den Felsen, sondern im organischen Verband von lebenden Geweben.

Obwohl diese Gedanken jedem Geologen geläufig sein müssen, obwohl ein Blick in die geologische Literatur auf jeder Seite biologische

und historische Tatsachen erkennen läßt, hat das Schwergewicht der aus einer längst überwundenen Zeit nachwirkenden Meinungen sogar verhindert, daß die Geologie ihre richtige Stellung im Rahmen der Naturwissenschaften fand. Immer wieder begegnet man der Auffassung, daß die Geologie eigentlich eine anorganische Disziplin sei und daß ihre Exaktheit in Zahl und Gleichung, in Formel und Experiment zum Ausdruck kommen müsse.

Aber noch in einer anderen Richtung sind veraltete Meinungen für den Gang unserer Wissenschaft verhängnisvoll geworden:

Als man begann, die geologischen Kräfte zu studieren und ihre Wirkungen in der Vergangenheit der Erde zu verfolgen, betrachtete man es als den Prüfstein streng wissenschaftlichen Denkens, wenn man mit einem einzigen Prinzip, einer einzigen Kraftquelle alle geologischen Erscheinungen befriedigend zu erklären vermochte. Die „Sintflut“ oder „das Wasser“, „das Feuer“ oder „die Erdbeben“ sollten jeweils hinreichen, um die Mannigfaltigkeit der Vorgänge zu verstehen. Dieser monodynamische Standpunkt tritt uns noch heute, wenn auch in anderer Form, bei den Diskussionen über die Eiszeit, die Transgressionen, die Hebungen oder die Vulkanbildung entgegen. Immer wieder bemüht man sich, alle wesentlichen und ebenso die begleitenden Erscheinungen eines geologischen Vorgangs durch eine einzige folgerichtig durchgeführte Kausalreihe restlos zu erklären.

Wenn wir uns aber in die Kausalbeziehungen vertiefen, die uns die gegenwärtige geologische Umwelt erkennen läßt, wenn wir die korrelative, wechselseitige Abhängigkeit des natürlichen Geschehens nicht nur von einer, sondern von vielen Kausalreihen zu würdigen gelernt haben, dann werden wir ohne weiteres zu einer polydynamischen Naturauffassung geleitet, und wir werden dann befähigt, auch die begleitenden Umstände zu berücksichtigen und nicht nur die Hauptwirkung, sondern auch die Nebenwirkungen in einer Schichten- oder Faunenfolge recht zu verstehen.

Es soll das letzte Ziel dieses Buches sein, nicht allein das kleine Gebiet, das man neuerdings als „Paläobiologie“ bezeichnet, sondern die Gesamtheit der biologischen Ursachen geologischer Vorgänge übersichtlich zu betrachten und durch beständige Hinweise auf die kausalen Wechselbeziehungen der heutigen Vorgänge einer polydynamischen Analyse des Naturgeschehens die Wege zu bahnen.

Jede geologische Arbeit, selbst wenn ihr Ziel rein beschreibend ist, beruht auf einer Reihe von Grundsätzen, die man meist ohne besondere Erwähnung stillschweigend voraussetzt, deren Inhalt aber das Ergebnis der Arbeit tiefgreifend beeinflußt.

Wenn man aber unsere Lehr- und Handbücher nach jenen grundlegenden Fragen befragt, so begegnet man nur selten einer Diskussion

derselben. Mit einer gewissen Absichtlichkeit werden diese „philosophischen" Fragen übergangen, weil sie keinen Zusammenhang zu haben scheinen mit den „Tatsachen", deren Feststellung die alleinige Aufgabe der Wissenschaft sein soll. Und doch wird kein kritischer Denker verkennen, daß alle unsere „faktischen" Feststellungen von theoretischen Voraussetzungen beeinflußt werden. Man sehe sich ein einziges Profil oder ein Stück einer geologischen Karte an und frage sich, wieviel hypothetische Annahmen in ihrer Darstellung enthalten sind?

Ich habe es mir zur Aufgabe gemacht, auch diese prinzipiellen Fragen einmal kritisch zu behandeln — nicht um irgend einer Theorie zuliebe oder um künftige Forschung in einer bestimmten Richtung zu beeinflussen, sondern um die Kritik auch da herauszulocken, wo man bisher gewisse Lehrmeinungen ohne Bedenken voraussetzte, nur weil sie durch das Alter geheiligt sind und keinem Zweifel unterlegen erscheinen.

In jeder Wissenschaft gibt es Probleme, die einmal im Mittelpunkt lebhafter Diskussion gestanden haben, dann zu einem vorläufigen Abschluß gebracht und, durch die Autorität eines anerkannten Gelehrten gestützt, als endgültig gelöst betrachtet wurden. Sie gehören bald zum scheinbar völlig gesicherten Bestand der Lehrbücher und werden in weitere Darstellungen unbedenklich übernommen, weil jeder Zweifel an ihrer Gültigkeit verstummt ist. Aber wer die ältere Literatur mustert, erfährt oft zu seiner eigenen Überraschung, daß Bedenken, die ihm bei der kritischen Analyse eigener Beobachtungen entgegentraten, schon einmal erhoben und besprochen worden sind, und oft drängt ihn die Zahl der inzwischen bekannt gewordenen Tatsachen zu einer Auffassung, die man vormals auf Grund eines kleineren Materials nicht für richtig halten durfte.

Die geschichtliche Entwicklung unserer Wissenschaft hat es bedingt, daß gerade die Probleme der Gesteinsbildung zunächst von abiologischer Seite in Angriff genommen werden. Werner schuf die scharfen Diagnosen von den „äußeren Kennzeichen der Fossilien", wie man damals die Mineralien und Gesteine nannte, mit denen man zuerst die Felsarten unterscheiden lernte. So ist die Gesteinslehre auch weiterhin die Domäne der Mineralogie geblieben und wir müssen rühmend betonen, wie sehr deren Arbeit die Kenntnis der Magmagesteine gefördert hat.

Die Schichtgesteine, die einer mineralogischen Betrachtung weniger zugänglich sind und die man nicht im Dünnschliff bestimmen kann, wurden freilich hierbei nur stiefmütterlich behandelt. Obwohl jede geologische Karte erkennen läßt, daß nur etwa 5% der Fläche von Deutschland aus magmatischen Gesteinen besteht, so werden sie selbst in den Erläuterungen der Kartenblätter mit der größten Ausführlichkeit beschrieben, während die unvergleichlich wichtigeren Trümmergesteine meist nur mit einer kurzen Schilderung abgetan werden.

Obwohl mich als Biologen zunächst ganz andere Probleme zur Geologie führten, habe ich mich drei Jahrzehnte lang mit den Aufgaben der Gesteinsbildung beschäftigt und zahlreiche Reisen unternommen, um diese Fragen zu untersuchen. In Hochgebirgen und Wüsten, auf Vulkanen und Gletschern, im Gangesdelta wie auf tropischen Korallenriffen, im Urwald wie an öden Salzseen habe ich die Abhängigkeit der lithogenetischen Vorgänge von ihren Bildungsumständen erforscht.

Hierbei lag mir besonders am Herzen, die Standorte und Lebensbedingungen der dort bodenständigen Lebewelt in ihrer Abhängigkeit vom Boden zu verstehen. Denn der am Grunde des Ozeans wie des Luftmeeres neu gebildete Lockerboden wird zum Grab der unverweslichen Hartgebilde von Pflanzen und Tieren und verwandelt sich endlich in das fossilführende Gestein.

Wenn ich wiederholt zusammenhängende Darstellungen über meine Wüstenstudien veröffentlichte, so war es nicht die Wüste als solche, die mein Interesse so lange Jahre fesselte, sondern sie schien mir nach der Eigenart ihrer lithogenetischen Bedingungen besonders geeignet, um grundsätzliche Fragen zu lösen. Wer meine Wüstenarbeiten von diesem Standpunkte liest, wird das Paradigmatische bald herausfinden.

Wir werden uns im folgenden auch mit dem Problem der paläogeographischen Karten zu beschäftigen haben, die neuerdings zahlreichen Arbeiten beigefügt, ein Bild der geologischen Vorzeit geben sollen. Mit scharfer Grenzlinie wird auf ihnen die Verbreitung des damaligen „Meeres“ und der daraus aufragenden „Festländer“ dargestellt, und doch beruht gerade diese scheinbar so sichere Linienführung auf einer ganz unsicheren Grundlage. Denn solche Karten geben eigentlich nur die Verbreitung von kiementragenden Tieren wieder und sparen solche Flächen als Festländer aus, wo deren Überreste nicht gefunden wurden. Es wird also der Karte einerseits eine physiologisch-biologische Tatsache zugrunde gelegt, andererseits das rein negative Fehlen solcher Reste.

Um die Unsicherheit einer derartigen Darstellung zu überwinden, müssen wir uns aber vor allen Dingen bestreben, auch die festländischen Gebiete solcher Karten nach positiven Kennzeichen zu bestimmen.

Bei meinen Bemühungen, einwurfsfreie und sichere Merkmale für festländische Ablagerungen zu gewinnen, stellten sich die abflußlosen Wüstengebiete als besonders wichtig heraus. Daher werden die Erscheinungen der leblosen Wüste auch in manchem der folgenden biologischen Abschnitte Bedeutung gewinnen.

Die vorwiegend systematische und vergleichend-anatomische oder stratigraphische Behandlung der Fossilien hat leider dahin geführt, daß alle mit den Überresten des vorzeitlichen Lebens zusammenhängenden

Fragen nur an den aus ihrem Muttergestein freipräparierten und von ihm völlig getrennten Sammlungsstücken behandelt werden. So bildete sich eine Betrachtungsweise aus, bei welcher zwar die Fossilien dem sie umhüllenden Gestein den stratigraphischen Namen gaben, aber von ihm völlig getrennt ein abstraktes Sonderdasein führten.

Ich betrachte es als eine wichtige Aufgabe meines Buches, die biologische Bedeutung der fossilführenden Gesteine und der mit den leitenden Arten biologisch verbundenen Lebensgenossen hervorzuheben und auf das wichtige Tatsachenmaterial hinzuweisen, das in diesen Dokumenten der Vorzeit gegeben ist.

Bei meinen Reisen hatte ich Gelegenheit, die verschiedenen Typen der Klimate der Gegenwart in ihren lithologischen und biologischen Wirkungen kennen zu lernen. Viele im folgenden durchgeführte Gedankenreihen sind das Ergebnis solcher persönlichen Erfahrungen unter wechselnden Breiten.

Jahrelang habe ich mich auch mit dem Meere und seiner Lebewelt beschäftigt, habe dreimal an der Zoologischen Station zu Neapel gearbeitet und in meinen Versuchsaquarien lange Wochen alle wichtigen Tiergenossenschaften Tag und Nacht beobachtet. Was ich dabei durch meinen verstorbenen Freund Lobianco gelernt und mit ihm studiert habe, gehört zu meinen wertvollsten biologischen Erfahrungen. Dazwischen habe ich auf tropischen Korallenriffen den Reichtum tropischer Faunen untersucht und lernte bei J. Murray in Edinburg die Tiefseesedimente der Challengerexpedition ebenso kennen, wie im Harvardmuseum die von A. Agassiz aus dem Golf von Mexiko gewonnenen Grundproben.

Indem ich dann auf geologischen Exkursionen fossile Faunen und fossile Gesteine mit meinen rezenten Beobachtungen verglich, ergaben sich immer neue Beziehungen zwischen Gegenwart und Vergangenheit.

So darf ich wohl sagen, daß die in diesem Buche dargestellten Erscheinungen und Vorgänge vorwiegend auf eigener Beobachtung und die gewonnenen Ergebnisse auf Studien in der Natur beruhen. Wenn hierbei auch persönliche Umstände mein Urteil beeinflussen konnten, so glaube ich durch umfassende Literaturstudien, deren Titel nur zum kleinsten Teil zitiert werden konnten, diese Beobachtungen ergänzt zu haben. Viele Belegstücke zu den hier beschriebenen Erscheinungen befinden sich in der „allgemein-geologischen“ Sammlung zu Halle.

Das Problem des Lebens läßt sich nur auf dem Hintergrund zeitlicher Vorgänge erfassen, und jeder Biologe, der sich bisher ernsthaft mit den Veränderungen der Lebewelt beschäftigt hat, indem er Stammbäume zeichnete oder tiergeographische Wanderungen verfolgte, konnte der geschichtlichen Anordnung seiner Ergebnisse nicht entbehren.

Um so merkwürdiger erscheint es, daß diese chronologisch-biologischen Probleme bisher fast ausschließlich von solchen Forschern be-

handelt wurden, die sich mit den großen zeitlichen Vorgängen der Erdgeschichte selbst nicht beschäftigt haben. Dagegen haben die Geologen, deren Wissenschaft überall zu einer zeitlichen Zerlegung räumlich verbundener Erscheinungen drängt und denen daher die Zeitfolge nicht ein bloßer Begriff, sondern ein wissenschaftlich faßbarer Tatsachenwert ist, diese Probleme zunächst nur zögernd und anlehnend behandelt.

Die gewaltigen Zeiträume der Erdgeschichte sind zwar seit Darwin und Haeckel von den historisch denkenden Biologen aus dem Beobachtungsbereich der Geologie übernommen worden, allein die „Lückenhaftigkeit" der paläontologischen Urkunde erschien den meisten von ihnen doch so groß, daß sie Bedenken trugen, bei phyletischen Betrachtungen die tatsächliche Aufeinanderfolge der fossil erhaltenen organischen Überreste an Stelle hypothetischer Annahmen zum Ausgangspunkt und Leitfaden ihrer Schlußfolgerungen zu wählen.

Der Geologe verfügt aber nicht allein über ein streng chronologisch geordnetes Ausgangsmaterial von formenreichen Floren und vielgestaltigen Faunen, sondern er gewinnt es auch aus der Mitte der ihre einstige Umwelt darstellenden Gesteine. Wie die zoologischen Stationen dem Biologen Gelegenheit geben, die Lebewelt des Meeres in ihrer natürlichen Umgebung zu studieren, so besitzen wir Geologen ein unvergleichlich reicheres Tatsachenmaterial in der Beschaffenheit der Gesteine, aus denen wir unsere Faunen herauspräparieren. Denn in einer geologischen Schichtenfolge sehen wir fast alle fossilen Tiere von dem Boden umhüllt, auf dem sie einst lebten und starben. Wir sind uns daher bei einer fossilen Fauna, wenn wir die lithogenetischen Umstände ihres Muttergesteins methodisch untersucht haben, nie im Zweifel, ob sie im Meere, in einem Fluß, einem Süßwasserbecken, einem Wüstensee oder einem Kraterbecken gelebt hat.

Indem ich hier eine einheitliche Behandlung dieser Probleme der „allgemeinen Paläontologie" versuche, will ich nicht etwa schon ein systematisch abgeschlossenes Lehrgebäude aufrichten, sondern nur die ersten Grundsteine zu einem solchen legen.

Ich habe mich nicht gescheut, auch schwierigere Rätsel der geologischen Vergangenheit zu besprechen und eine vorläufige Lösung derselben zu versuchen, um andere zur Nachprüfung anzuregen.

Wo ich einen Gedanken entlehnte, habe ich den Autor genannt und die Schriften, die ich bei der Bearbeitung der einzelnen Abschnitte zu Rate zog, selbst wenn deren Inhalt mich zu einer abweichenden Auffassung geführt hatte, am Schlusse derselben aufgezählt. Leider gibt manche Arbeit in ihrem Titel nicht zu erkennen, daß sie sich auch mit ähnlichen Fragen beschäftigt, und so mag mir manche Schrift entgangen sein, die auch verdient hätte, erwähnt zu werden. Gegenteilige Ansichten habe ich leider nicht eingehend diskutieren können, weil sonst

der Umfang dieses Buches allzu groß geworden wäre und weil viele grundsätzliche Erörterungen in mehreren Abschnitten hätten wiederholt werden müssen. Soweit mich meine Beobachtungen zu einem bestimmten Ergebnis geführt hatten, habe ich meine Ansicht ohne Vorbehalte ausgesprochen, weil nur auf diesem Wege anderen eine klare Stellungnahme ermöglicht wird und sich eingehendere Diskussionen an die von mir aufgeworfenen Probleme anschließen können.

Es liegt mir hauptsächlich daran, mit meinen Betrachtungen ruhende Fragen wieder in Fluß zu bringen, auf wenig betretene Forschungswege hinzuleiten und neue Ziele zu stellen.

Das nach dem Erscheinen meiner „Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft" im Jahre 1894 begonnene Werk war schon dem Abschluß nahe, als sich mir unerwartet die Gelegenheit bot, auf einer Reise nach Australien manche wichtige Frage nachzuprüfen. Mitten in der westaustralischen Wüste überraschte mich der Weltkrieg und vereitelte einen Teil meiner Pläne. Aber die Weiterreise durch Australien und das große Wallriff sowie ein mehrwöchiger Aufenthalt auf den urwaldbedeckten Vulkanen von Java und Ausflüge nach den nahen Korallenriffen gaben mir noch viele wertvolle Erfahrungen.

Bei meiner Heimkehr traten zunächst andere literarische und akademische Aufgaben an mich heran und erst nach deren Abschluß konnte ich meine Arbeit zu Ende führen.

Meiner lieben Frau danke ich für ihre Hilfe bei der Niederschrift, meinem Schüler Dr. J. Weigelt für seine Unterstützung bei der Korrektur, dem Herrn Verleger für seine Sorgfalt bei der Drucklegung.

Ich gliedere meinen Stoff in drei Teile. Zunächst werde ich die Fossilien als Einschlüsse in den Gesteinen betrachten. Die aus ihrem Muttergestein freigelegten und von ihren Fundgenossen isolierten Fossilien können zwar für eine rein botanische oder zoologische Betrachtungsweise wertvolle Tatsachen liefern, aber ihren eigentlichen erdgeschichtlichen Wert gewinnen sie erst dann, wenn wir auch das reiche Beobachtungsmaterial berücksichtigen, das in ihrer lithologischen Umgebung, in ihrer stratigraphischen Einordnung in den Schichtenverband und ihrer räumlichen Verteilung innerhalb eines bestimmten geologisch begrenzbaren Fundraumes gegeben ist.

In einem zweiten Teil behandeln wir die Vorgänge des Lebens an der Hand der fossilen Überreste. Die Pflanzen und Tiere der Vorzeit sind einmal entstanden, haben geatmet, sich ernährt, bewegt und fortgepflanzt, sind gewachsen und gestorben, haben die Funktion ihrer Organe gewechselt oder ihre Artcharaktere verwandelt. Eine Fülle von morphologischen, paläogeographischen und phylogenetischen Fragen hängen mit diesen Lebensäußerungen zusammen, die bei der Beurteilung jedes einzelnen Fossils wie ganzer Faunen berücksichtigt werden müssen.

Endlich werden wir die geologische Umwelt der Fossilien in den Kreis unserer biologischen Erwägungen ziehen, werden das Klima der Vorzeit, den wechselnden Salzgehalt des Wassers, seine Tiefe und Fazies, die zusammengehörenden Lebensgenossen, ihren Ortswechsel, ihre Isolierung und Ausbreitung im Rahmen erdgeschichtlicher Vorgänge untersuchen und zum Schluß das Problem der Entwicklung im Laufe der geologischen Zeiträume behandeln.

Dieses letzte und schwierigste Problem der Biologie ist bisher fast ausschließlich von Botanikern und Zoologen auf anatomischem, ontologischem oder experimentellem Wege untersucht worden. Wertvolle und wichtige Erfolge haben ihre Arbeit gekrönt, aber man darf darüber nicht übersehen, daß es sich doch im Grunde genommen um ein Problem handelt, das man eindeutig nur an der Hand chronologisch geordneter Tatsachen lösen kann. Ebenso wie man nur geologisch entscheiden kann, daß die Ganoiden älter sind wie die Knochenfische, so kann auch eine endgültige Lösung der allgemeinen Frage nach dem Wandel des Lebens im Laufe der Vergangenheit nur auf geologischem Wege gefunden werden.

Aus abiologischen Anfängen hat sich die Geologie schrittweise entwickelt; neue Ziele sind einer biologischen Geologie gestellt, weit und mühsam ist der Weg emsiger Kleinarbeit, sorgfältiger Beobachtung und methodischer Analyse. Dem dahin arbeitenden Geologen und Paläontologen soll dieses Buch als Begleiter dienen, ihm die Augen für biologische Zusammenhänge öffnen, auf das feine Wechselspiel der Naturvorgänge aufmerksam machen und ihn anregen, Erscheinungen zu beachten, die er vielleicht bisher übersah und deren wissenschaftliche Tragweite ihm bei seinen kartierenden oder stratigraphischen Untersuchungen nicht immer zum Bewußtsein kam.

Zugleich aber möchte ich die historisch denkenden Biologen auf die geologischen Zusammenhänge der Lebenserscheinungen hinweisen und ihren, der buntbewegten Gegenwart zugewandten, Blick auf die „toten“ Steine und die fernen Tiefen der geologischen Vergangenheit lenken.

Halle, im Juli 1919

Der Verfasser

Die gegenwärtigen Druckschwierigkeiten machen ein Erscheinen dieses Buches in drei gesonderten Teilen zweckmäßig.

1. Fossil und rezent

In bunter Mannigfaltigkeit belebt die rezente Lebewelt das Meer und die Festländer der Gegenwart; sie bildet den Gegenstand zoologischer und botanischer Forschung. Ihre ausgestorbenen Vorfahren nennen wir fossil und betrachten sie als das Forschungsgebiet der Paläontologie. Arten, die in historischer Zeit ausgestorben sind, werden als subfossil bezeichnet.

Pecten islandicus lebt heute rezent im flachen Küstenwasser von Island, findet sich fossil in den diluvialen Muschelbänken von Uddevalla, und mitten zwischen den rezenten Muscheln der Nordsee dredgt man tote Schalen subfossil im Firth of Clyde in 30 m Tiefe.

Manche Arten sind in wenigen Jahren ausgestorben. Sie wurden durch klimatische oder geologische Vorgänge von ihrem ehemaligen Lebensraum abgedrängt und fielen auf dem verengten Wohngebiet leicht dem Menschen zum Opfer. Die Riesenvögel von Neuseeland bewohnten einst weite Ebenen eines erst im Diluvium versunkenen Landes. Die noch in diluvialer Zeit breite gangbare Behringsbrücke zerlegte sich durch eine flache Überflutung in einzelne Inseln, auf die sich die riesige Rhytina Stelleri in großen Herden rettete; im Jahre 1741 entdeckt, fiel schon 1768 das letzte Exemplar dem Hunger der Walfischfahrer zum Opfer.

Bison americanus bevölkerte noch gegen 1850 zu Millionen die Prärien, und heute leben nur einige Herden in den Reservationen. Aber nicht die Pfeile der Indianer und die Gewehre der Jäger haben sie ausgerottet, sondern die beständige Verkleinerung ihres Lebensraumes durch Eisenbahnen, Ackerland und Siedelungen.

Alca impennis war früher an den nordatlantischen Küsten häufig, doch schon 1844 wurde der letzte Alk getötet; nur 27 Bälge, 6 Skelette und 53 Eier sind nach Champley in den Museen vorhanden.

Manche Tiere sind dem Aussterben nahe; Ceratodus lebt nur noch in zwei ostaustralischen Flüssen, und Sphenodon auf einer kleinen Insel im NO von Neuseeland.

Aus der diluvialen Fauna Süddeutschlands sind 60 Arten von Mollusken als ausgestorben beschrieben worden. Aber D. Geyer zeigte, daß es sich bei der Mehrzahl derselben nur um „verschollene" Arten handeln könne. Manche scheinen gelegentlich entstandene und wieder ver-

schwundene Varietäten zu sein, andere sind ausgewandert, und nur Acme diluviana und Pisidium astartoides haben weder lebende noch diluviale Artverwandte.

Im Bergbau hat das Wort „fossil“ noch heute eine besondere Bedeutung. Man versteht darunter „bauwürdig“ und das Allgemeine Preußische Landrecht vom Jahre 1857 sagt im IV. Abschnitt § 69: „Alle Fossilien, woraus Metalle und Halbmetalle gewonnen werden können, gehören ausschließend zum Bergwerksregal.“

Die Tatsache, daß vor der heutigen Lebewelt andere jetzt ausgestorbene Organismen Wasser und Land belebten, war den Völkern des Altertums, auf denen unsere geistige Kultur aufbaut, unbekannt. Schon im Genesisbericht zeigt uns die Archensage, daß man die antediluvialen Arten als formengleich mit den postdiluvialen ansah. Die Assyrier, Griechen und Römer bevölkerten zwar die Urzeit mit den fabelhaften Geschöpfen ihrer Phantasie, fügten Kentaurenrümpfe auf Pferdeleiber, Tierköpfe auf Menschengestalten und bildeten geflügelte Wesen mit drei Paar Gliedmaßen ab. Aber, obwohl die Berge Italiens mit den fossilen Resten früherer Meere erfüllt sind, finden wir selbst in den Büchern des vielwissenden Plinius keine Andeutung dieser merkwürdigen und zum Nachdenken anregenden Erscheinung.

So ist es kein Wunder, daß auch unsere nordische Kultur, soweit sie auf den naturfremden Kulturen des Mittelmeeres erwachsen ist, dem Tatsachenbereich unserer Wissenschaft fremd und ablehnend gegenüberstand.

Aber um dieselbe Zeit, als sich eine hochentwickelte klassische Kultur von Kreta und Mykene ausbreitete, gab es im „barbarischen“ Norden schon feinsinnige Beobachter, die sich auch mit Paläontologie beschäftigten. In einem Grab der jüngeren Bronzezeit fand Merkel bei Bernburg an den Ufern der Saale eine Urne mit 56 Arten von unteroligozänen Konchilien aus den Tonen des nahen Latdorf. In dieser ältesten paläontologischen Sammlung sind sogar 7 Arten von Pleurotomaria, 9 Fusus- und 7 Dentalienarten unterschieden und legen Zeugnis ab von dem formensicheren Beobachtungsvermögen und dem Natursinn des Sammlers.

Nur ein geringer Teil der rezenten Pflanzen und Tiere kann in ihrem natürlichen Lebensraum untersucht werden. Die meisten bilden, in Fließpapier getrocknet oder feucht in Alkohol konserviert, die Schätze unserer Museen. Selbst unsere Kenntnisse über die Lebensgenossen und Lebensweise der rezenten Arten sind ungemein lückenvoll und die Zahl der rezenten Formen, deren ontogenetische Entwicklungsgeschichte untersucht werden konnte, ist gering. Es läßt sich auch auf Grund der vergleichenden Morphologie und embryonalen Entwicklung nie mit Sicherheit entscheiden, welche von mehreren gleichzeitig lebenden Arten die ältere

Ahnenform gewesen ist und welche erst später entstand, und alle Stammbäume, die nur auf vergleichenden Untersuchungen rezenter Formen aufgebaut sind, beruhen auf Hypothese.

Die fossile Lebewelt ist zwar sehr unvollständig erhalten; es fehlen fast alle Weichtiere und von den mit festen Stützgeweben versehenen Formen sind meist nur die Hartgebilde erhalten. Dadurch verändert sich sogar die systematische Zusammensetzung einer fossilen gegenüber einer rezenten Fauna. Aber diese Mängel der paläontologischen Urkunde werden dadurch ausgeglichen, daß der Formenreichtum der fossil erhaltungsfähigen Lebewelt nicht nur räumlich sondern auch zeitlich mit großer Genauigkeit bestimmt werden kann.

Im Querschnitt der organischen Entwicklungsreihen bildet die rezente Lebewelt eine Fläche, während wir bei den meisten fossilen Arten den Lebensraum körperlich überschauen, Ahnen und Nachkommen mit der größten Sicherheit unterscheiden, und die Entwicklungslinien der Arten, Gattungen, Familien und Ordnungen von ihrem ersten Auftreten durch das Optimum ihrer Verbreitung bis zu den letzten aussterbenden Nachzüglern verfolgen können.

Im Gegensatz zu den Gegenständen der botanischen und zoologischen Museen können wir nicht nur den Lebensraum längst ausgestorbener Gruppen untersuchen, sondern auch ihre Lebensgenossen an geeigneten Stücken überschauen. Diese biologische Seite des paläontologischen Materials gewährt uns unvergängliche Grundlagen für die wissenschaftliche Prüfung.

Verhängnisvoll für die Entwicklung unserer Wissenschaft war es, daß der große Systematiker Linné die Fossilien nicht zum Pflanzen- und Tierreich, sondern zum „Steinreich" rechnete. Obwohl auch viele der rezenten Pflanzen nur als tote Herbarienexemplare untersucht werden und die meisten Tierarten ebenso tot in Alkohol eingebettet sind, wie die fossilen Arten von Gesteinsmasse umhüllt werden, hat das Wort „Versteinerung" viele Vorurteile hervorgerufen. Aber die Fossilien sind nicht in Stein verwandelt, sondern darin eingeschlossen, und wenn wir sie mit dem Hammer aus dem Gestein herausschlagen, öffnen wir den hermetischen Verband, der sie durch Millionen von Jahren konserviert hat.

Der Formensinn und das Unterscheidungsvermögen des Bronzemenschen von Bernburg tritt uns bei den Sammlern des Nordens auch am Ausgange des Mittelalters entgegen und in zahlreichen paläontologischen Büchern und Schriften wurden im 17. und 18. Jahrhundert unter dem Titel Oryktographia und Lithographia die in einzelnen Ländern gefundenen Fossilien oft in sehr charakteristischer Weise abgebildet.

Die Anschauungen über die Entstehung dieser aus dem Boden ausgegrabenen (fossilis) Gegenstände gingen jedoch weit auseinander.

Denn so ganz verschiedenartige Bildungen wie: Topfscherben und Steinbeile, Münzen und vertrocknete Mumien, Knochen und Fischabdrücke, Farnblätter und an Pflanzenteile erinnernde zufällige Reliefformen, und zarte Dendriten, die wie Eisblumen auf Gesteinsspalten von Eisenlösungen ausgeschieden worden waren, lagen in den alten Kuriositätenkabinetten als „Fossilia“ wirr durcheinander.

Man sah in den einen „Naturspiele“, in anderen die Gebilde von Menschenwerk, in wieder anderen die deutlichen Reste abgestorbener Tiere, aber wie alle diese Dinge in die Gesteine hineingelangt sein könnten, war schwer zu begreifen.

Lesser sah in den Figurensteinen Beweise für die „Allmacht, Weisheit, Güte und Gerechtigkeit des großen Schöpfers“, Büttner in den bei Querfurt gefundenen Fossilien, Concretionen und Steinbeilen die „Rudera diluvii testis“ und Silberschlag versuchte sogar durch einen sinnreichen Apparat zu zeigen, wie die Wasser der allgemeinen Sündflut aus der Unterwelt hervorgebrochen seien, die ganze Erde überschwemmt und sich dann wieder in Höhlen zurückgezogen hätten.

Hierbei kam die landeskundliche Begrenzung der gesammelten und abgebildeten Fossilien bald zur Geltung. Luidius beschrieb die Steingebilde Englands, Baier die Funde von Nürnberg, Lang die Figurensteine der Schweiz, Mylius die von Sachsen, Liebknecht diejenigen seiner hessischen Heimat und Ritter bildete neben der Krotonfigur und allerlei Inschriften die Echiniden, Belemniten und Ammoniten von Goslar ab.

Aus dem Buche von Vallisneri und besonders der Biolitologia Veronese des Grafen Gazola mit seinen großen Tafeln ersehen wir, welches Interesse die Fischabdrücke der Lastiana am Mte. Bolca schon frühzeitig erweckt hatten — gehören doch diese (wie bei Solnhofen) in einem feinkörnigen Plattenkalk eingeschlossenen Fischreste zu dem regelmäßigen Bestand alter Naturalienkabinette. Für die Frage: wie Meerestiere in die Gesteine der Berge gelangt sein könnten, wurde besonders eine Abhandlung von L. Moro entscheidend, der auf Grund eines Berichtes über die Eruption von Santorin im Jahre 1707 behauptete, daß marine Austern durch vulkanische Hebung emporgebracht werden könnten. Die vielen Übersetzungen dieses Buches beweisen, welche Bedeutung seinem Inhalt damals beigelegt wurde.

Inzwischen hatte der Sammeleifer von Gelehrten und Dilettanten so reiche Schätze fossiler Reste bekannt gemacht, daß monographische Abhandlungen erscheinen konnten, in denen entweder die schwedischen Belemniten oder die als Vogelzungen (Glossopetrae) betrachteten Haifischzähne, die Trochiten oder andere seltsame Steinkörper, deren zoologische Deutung zunächst noch großen Schwierigkeiten begegnete, abgebildet und beschrieben wurden.

Als ein Zeichen falscher theoretischer Einstellung müssen wir hier der Lithographia Wirzeburgensis des Professor BEHRINGER gedenken, der im Jahre 1726 die unterirdischen Wunder seiner fränkischen Heimat darzustellen unternahm, indem er allerlei Fabelgestalten abbildete und beschrieb. Wenn man den Text genau liest, dann ergibt sich, daß er seine Figurensteine nicht etwa als Überreste früherer Lebewesen, sondern als Naturspiele betrachtete, über die er sich ebenso freute, wie „die beiden Söhne einer armen Witwe", die ihm ihre Funde aus den Würzburger Weinbergen herbeibrachten. An kleinen Satzfehlern kann man zeigen, daß die im Jahre 1778 erschienene zweite Auflage aus Exemplaren des ersten Druckes besteht, die mit einem neuen Titelblatt in den Handel gebracht wurden.

Einen Wendepunkt in der Geschichte der Paläontologie spielt das Erscheinen des „Steinreich" von WALCH in Jena, das durch seine Widmung an die Herzogin Anna Amalia deutlich erkennen läßt, welch reges Interesse für Naturgeschichte schon vor GOETHES Eintritt in Weimar herrschte. Das kleine Buch enthält eine so übersichtliche Zusammenstellung der damals bekannten Fossilien, bringt die Mehrzahl derselben in so richtige Beziehungen zu ihren rezenten Verwandten und behandelt die Frage nach ihrer Entstehung in so klarer sachlicher Art, daß man in ihm das älteste Lehrbuch der Paläontologie sehen darf.

Die naturwahren Tafeln der seit 1755 von KNORR und WALCH herausgegebenen Naturgeschichte der Versteinerungen sind die ersten richtigen Fossilbilder und bis heute unübertroffen.

Vom Jahre 1820 ab veröffentlichten die ausgezeichneten Beobachter v. STERNBERG, GOLDFUSS und ZIETEN ihre klassischen Tafelwerke, in denen an der Hand ausgezeichneter Abbildungen die binäre Nomenklatur auf die fossilen Pflanzen und Tierarten ausgedehnt wurde. Arten und Gattungen wurden darin mit ebenso scharfen Diagnosen versehen, wie sie LINNÉ für die rezenten Formen allgemein angewandt hatte.

Inzwischen gewann die von BLUMENBACH begründete Vergleichende Anatomie rasch Einfluß auf die paläontologische Arbeit; besonders nachdem CUVIER die reichen Schätze aus den Steinbrüchen in der Umgebung von Paris geborgen, beschrieben und verglichen hatte

So war die Paläontologie im Begriff, zur angewandten Zoologie und Botanik zu werden, als ihr gegen das Jahr 1800 durch den Engländer WILLIAM SMITH eine völlig neue Seite der Forschung eröffnet wurde. Bei Kanalbauten erkannte dieser mit sehr scharfem Beobachtungsvermögen ausgestattete Techniker, daß in den aufeinanderfolgenden Schichten immer wieder andere Arten fossiler Meerestiere eingebettet sind. Obwohl seit 1809 die Geological Society of London eine umfangreiche Tätigkeit entfaltete und klassische geologische Arbeiten aus ihrem Schoß hervorgingen, gehörte SMITH nicht zu deren Mitgliedern, die erst

spät erkannten, welche maßgebende Bedeutung diese stratigraphische Seite der Paläontologie gewinnen sollte. W. Smiths Tabellen waren lange Jahre nur in handschriftlichen Kopien verbreitet und wurden erst 1816 durch den Druck bekannt.

Es muß hervorgehoben werden, daß schon 1813 die Petrefaktenkunde v. Schlotheims die einzelnen Formationen durch den Gehalt an verschiedenen Faunen unterschied und das geologische Vorkommen von über 1000 Spezies nach dem damaligen Stand der Kenntnisse veröffentlichte.

Im Laufe des vorigen Jahrhunderts erschienen dann so zahlreiche Abhandlungen über einzelne Gruppen der fossilen Flora und Fauna sowie den Fossilgehalt der Schichtenfolge aller Länder, daß eine Übersicht über den fossilen Formenreichtum immer schwieriger wurde. Es wird das hervorragende Verdienst von K. v. Zittel bleiben, daß er zum erstenmal unternahm, eine zusammenfassende Darstellung der bekannten und beschriebenen fossilen Gattungen zu geben und damit die Paläontologie als einheitliche besondere Wissenschaft zu begründen. In Deutschland haben Broili, Jaeckel, Pompecki, Schlosser und v. Stromer sein Lebenswerk nach der morphologischen Seite weitergeführt, während E. Fraas, Frech, Gürich, E. Kayser, Koken und F. Roemer das paläontologische Tatsachenmaterial nach stratigraphischen Gesichtspunkten sichteten und übersichtlich darstellten.

Neben der morphologisch-systematischen sowie der chronologisch-stratigraphischen Betrachtungsweise der Fossilien hat sich die ursächliche Erklärung ihrer Formveränderung und der erdgeschichtlichen Wanderungen fossiler Pflanzen und Tiere bis zu ihrem Aussterben in bestimmten Abschnitten der Vorgeschichte anfangs nur schüchtern, neuerdings aber in erfolgreicher Weise entfaltet. Umfangreiche Werke von Abel, Arldt, Daqué behandeln die Paläobiologie und Paläogeographie, Stammbäume und Verbreitungskarten der Fossilien finden sich in zahlreichen Arbeiten und überall beherrscht der Entwicklungsgedanke Forschung und Darstellung.

Es ist bezeichnend, daß der Name Paläontologie, d. h. die Lehre von der vorzeitlichen Lebewelt, im Laufe der Jahre und in neuen Ausgaben von Zittels grundlegendem Handbuch durch das Wort Paläozoologie ersetzt worden ist, ebenso wie die fossile Flora unter dem Titel Paläophytologie gesondert behandelt wird.

Wenn wir den Inhalt dieser systematischen Werke prüfen, sehen wir die Fragen allgemeinerer Natur nur in kurzen einleitenden Abschnitten, Anmerkungen oder Schlußkapiteln mehr angedeutet als untersucht, trotzdem dieselben Fragen im allgemeinen Teil zahlreicher Abhandlungen eingehend erwogen werden.

Wer den Werdegang der Zoologie und Botanik verfolgt, dem wird es auffallen, daß dort schon seit Jahrzehnten eine ähnliche Wendung eingetreten ist. Die rein systematische und morphologische Betrachtungsweise der Pflanzen und Tiere, die früher den ganzen Inhalt der Lehrbücher sowie der akademischen Vorlesungen bildete, hat allmählich bei der Überfülle des Stoffes eine wesentliche Verminderung erfahren, und die Probleme der allgemeinen Zoologie wie die der allgemeinen Botanik, die einst nur im Kreise gelehrter Diskussion ihren Platz fanden, bilden jetzt den Inhalt von Lehrbuch, Unterricht und Forschung.

Auch unsere Wissenschaft ist durch den Gang ihrer Entwicklung auf dieselben Wege geleitet worden. Die Probleme, die bei jeder geologisch-paläontologischen Diskussion auftauchen, ohne die man keine Art bestimmen, keine Fauna beurteilen, keinen Horizont ausscheiden, keinen Stammbaum zeichnen und keine Karte eines alten Meeres entwerfen kann, fordern neuerdings ihr Recht im Rahmen unserer Wissenschaft.

So gebrauche ich hier den Ausdruck Allgemeine Paläontologie als umfassenden sinngemäßen Titel für die vielseitigen Fragen über das Leben der Vorzeit. Was man neuerdings unter dem Namen Paläobiologie, Paläoklimatologie, Paläogeographie oder Paläactologie zusammengefaßt hat, sind Teilgebiete, deren Einordnung in den Rahmen der allgemeinen Paläontologie aus den folgenden Abschnitten ersichtlich sein wird.

Und wenn auch auf diesem neuen Arbeitsgebiet der Biologie vieles nach Gestaltung ringt, mancher Abschnitt nur leicht umrissen ist und große Lücken der Beobachtung offen bleiben müssen, so scheint es mir doch zeitgemäß, die vielverstreuten Ergebnisse bisheriger Einzelarbeit zu einem Gesamtbild zu vereinen und in den folgenden Abschnitten auf die Fülle von Fragen hinzuweisen, die Jedem entgegentreten, der die ausgestorbene Lebewelt biologisch betrachten will.

Literatur zur Geschichte der Probleme

v. Cotta, B., Geologisches Repertorium. Leipzig 1877. — Geickie, Sir A., The Founders of Geology. London 1897. — Hoffmann, Fr., Geschichte der Geognosie. Berlin 1838. — Keferstein, Chr., Geschichte und Literatur der Geognosie. Halle 1840. — Merrill, Contributions to the history of American Geology. Rep. U. S. National Museum 1906. S. 207f. — Schröter, J. S., Lithologisches Reallexikon. Berlin 1772. 4 Bde. — Woodward, H., The history of the Geological Society of London. London 1907. — v. Zittel, K. A., Geschichte der Geologie und Paläontologie. München 1899.

Zur Naturgeschichte der Fossilien

Naturgeschichte des C. Plinius Secundus, übersetzt von Wittstein. Leipzig 1881. — Merkel, O., Eine Sammlung obligocäner Petrefacten. Jahresbericht der Vorgeschichte der sächs.-thür. Länder III, 1904, S. 90. — Linné, C., Systema naturae. Leipzig 1748. III, Lapidum regnum I. Petrae II. Minerae III. Fossilia. — D. Geyer, Verschollene Quartärmollusken. N. Bl. d. Deutsch. Malakozool. Ges. 1918, III, S. 81. — Lesser, F. Chr., Lithotheologie d. i. Natürliche Historie und geistliche Betrachtung der Steine. Ham-

burg 1735. — Buttnerus, M. S. S., Rudera diluvii testis... in dem Lichte natürlicher Weisheit betrachtet. Leipzig 1710. — Silberschlag, J. E., Geogenie oder Erklärung der mosaischen Erderschaffung nach physik.- und mathem. Grundsätzen. Berlin 1780. — Beringer, Lithographiae Wirceburgensis Specimen primum 1726 editio secunda. Frankfurt u. Leipzig 1767. — Luidius, Lithophylacii britannici Iconographia. London 1699. — Baier Oryctographia norica. Nürnberg 1708. — Lang, Historia lapidum figuratorum Helvetiae. Venedig 1708. — Mylius, Memorabilium Saxoniae subteraneae. Pars prima. Leipzig 1709. — Liebknecht, G., Hassiae subterraneae clarissima testimonia diluvii universalis. Gießen 1730. — Ritter, A., Oryctographia goslariensis. Sondershausen 1738. — Gazola, Ctc. G., Ittolitologia veronese del Museo Bozziano. Verona 1796. — Valisneri, A., De corpi marini che su monti si trovano. Venedig 1721. — Moro, L., De crostacei e degli altri marini corpi che si trovano su monti. Con 8 Tav Venezia 1740 übersetzt Leipzig 1751. — Erhart, B., De belemnitis suevicis. Augsburg 1727. — Arnold, Th., Untersuchungen der... Fossilien oder Fischschalen. Leipzig 1733. — Columnae, Fab., De Glossopetris. — Rosinus, De Lythozois ac Lithophytis. Hamburg 1719. — Knorr, W. u. Walch. J., Naturgeschichte der Versteinerungen 1768—1788. — Walch. J., Das Steinreich system. entworfen. Halle 1762. — Sternburg, K. Graf v. Versuch einer geogn.-bot. Darstellung der Flora der Vorwelt. Leipzig 1820. — Goldfuß, A., Petrefacta Germaniae. Düsseldorf 1826—44. — Zieten, Die Versteinerungen Württembergs. Stuttgart 1830. — Smith, W., veröffentlicht handgezeichnete Tafeln und die ersten stratigraphischen Tabellen schon 1799. Tabular View of the order of strata in the vicinity of Bath with their respective organic remains. — Zittel, K. v., Handbuch der Paläontologie. München 1887—1893. — Zittel, Grundzüge der Paläozoologie, herausgegeben von Broili, Koken, Schlosser. 4. Aufl. 1915.

2. Aufschluß und Fundort

Nur ein geringer Teil der Erdoberfläche liegt unbedeckt zutage, so daß wir dort die Gesteine früherer Perioden mit ihrem Fossilgehalt finden und sammeln können. Zweidrittel werden vom Meere bedeckt und mit seinen heute noch entstehenden lockeren Sedimenten verhüllt, das festländische Drittel aber ist vielfach bedeckt mit den gesellig wachsenden rezenten Pflanzen, dem alluvialen Schutt und den Schneedecken des nivalen Gebietes. Nur an den natürlichen oder künstlichen Aufschlüssen, wo Schuttmantel und Pflanzenkleid abgedeckt sind, können wir den Aufbau der Lithosphäre untersuchen.

Wir unterscheiden nach der Art ihrer Bildung die aufgelagerten von den eingelagerten Gesteinen und trennen sie nach dem Ursprungsmaterial weiter in:

1. Trümmergesteine, die aus den Bruchstücken schon vorher fester unorganischer Felsmassen oder organischer Hartgebilde entstanden und deren bewegliche oder gelockerte Teilchen von ihrem Bildungsort bis zum Ablagerungsort einen kürzeren oder längeren Weg zurücklegten, dann in

2. Niederschläge die aus wässeriger Lösung durch Abkühlung warmer, Verdunstung kühler Gewässer, oder chemische Reaktion zwischen verschiedenartigen Lösungen ausgefällt wurden, und in

3. Magmagesteine, die durch Abkühlung des unterirdischen Magmas gebildet wurden, nachdem die glutflüssige Masse innerhalb der Erdrinde oder auf derselben eine gewisse Strecke zurückgelegt hatte.

Trümmergesteine, Niederschläge und Magmagesteine sind massig oder geschichtet, und nur an Gewebe, Umriß und Gefüge können wir ihre Entstehungsweise beurteilen.

An jedem Gestein prüfen wir zunächst das Gewebe, d. h. seinen mit bloßem Auge sichtbaren oder mikroskopischen Aufbau aus einzelnen Teilchen; er ist bedingt durch das Bildungsmaterial und die äußeren Bildungsumstände. Wir unterscheiden die gleichartige Grundmasse von den ihr eingefügten Einschlüssen. Die Grundmasse ist glasig, dicht oder körnig und besteht meist aus den Bruchstücken vorher harter, dann in Lockermassen zerlegter und endlich wieder verkitteter harter anorganischer Felsarten oder organischer Hartgebilde; wir nennen dieses Trümmergewebe klastisch; andere Gesteine zeigen eine aus gewachsenen Kristallen von mancherlei Mineralien bestehende kristalline Grundmasse.

Von der Grundmasse unterscheiden sich die Einschlüsse, die wir in Gesteinsstücke, Mineralien und Fossilien trennen und deren Altersbeziehungen von Bedeutung sind.

Während die physikalischen und chemischen Gesetze, welche die Entstehung von Mineralien beherrschen, an jedem Ort der Erdrinde und in jeder Zeitepoche dieselben waren und daher immer die gleichen Mineralarten gebildet werden konnten, verliefen die biologischen Vorgänge, welche zur Bildung der Fossilien führten, in jeder geologischen Periode in anderer Weise und formten immer neue Arten von Organismen. Eingefügt in die in ihrem Lebensraum entstandenen Lockermassen, ermöglichen sie uns, deren relatives Alter mit ebensolcher Sicherheit zu bestimmen, wie ein Münzenkenner am Gepräge einer kleinen Metallplatte die Entstehungszeit des sie umgebenden Bauschuttes zu erkennen vermag.

Grundmasse	Einschlüsse	Altersverhältnis
klastisch (dicht, fein, grobkörnig)	Gesteinsstücke,	älter als die Grundmasse,
	Mineralien,	jünger „ „ „
	Fossilien	gleichalterig mit der „
kristallin (glasig, dicht, fein, grobkörnig)	Gesteinsstücke,	älter als die Grundmasse,
	Mineralien,	gleichzeitig mit der „
	Fossilien	fehlen meist.

Der Umriß oder die Grenzfläche einer einheitlich zusammengesetzten Gesteinsmasse entspricht ihrem Bildungsraum. Derselbe wird bei den aufgelagerten Gesteinen durch die Oberfläche des Geländes, bei eingelagerten Felsarten durch die Gestalt des vorhandenen oder neugebildeten Hohlraumes bedingt. Die eingelagerten Gesteine erfüllen unregelmäßige Lücken als Nester, Spalten als Gänge, Kanäle als Basaltkuppen, aufgeblätterte Schiefer als Gneisregionen und große

rundliche Hohlräume als Stöcke, Batholithe und Lakkolithe, aber solche Massen enthalten nie Fossilien.

Aus der Art ihrer Entstehungsweise geht hervor, daß nur aufgelagerte Gesteine Fossilien enthalten können. Denn alles Leben ist vom Sonnenlichte abhängig und die jeweils lebenden Organismen des Festlandes oder des Wassergrundes können nur in die Oberschicht der in derselben Zeit gebildeten Lockermassen eingelagert werden. Selbst wenn in einer Höhle knochenführender Lehm entsteht, so ist er nur scheinbar eingelagert, weil die Höhle einen Ausgang nach der Erdoberfläche haben mußte.

So ist der denkende Sammler schon bei seinen ersten Schritten darauf hingewiesen, vereinzelte Tatsachen im Geiste zu verknüpfen und zwischen ihnen eine Verbindung herzustellen, die in der Natur nicht ohne weiteres gegeben ist.

Wir unterscheiden die Fundstelle von dem Fundort. Jene ist der zufällig fossilführende Punkt im Kartenbild, der Fundort wird dagegen durch den Namen einer nahen Ortschaft oder Flur gekennzeichnet. Viele einst ergiebige Fundorte, deren Stücke in Sammlungen und wissenschaftlichen Arbeiten eine wichtige Rolle spielen, sind ausgebeutet und längst erschöpft und das in ihrer Nähe anstehende gleichalterige Gestein ist oft ganz fossilarm.

Marine Ablagerungen sind oft gleichmäßig mit organischen Resten überstreut. In anderen Gesteinen sind die Fossilien nesterweise eingelagert, denn selbst am Meeresgrund gibt es formenreiche Futterplätze, individuenreiche Laichstellen oder Orte, wo schwebende und schwimmende Drift zusammengetragen wurde neben weiten leblosen Flächen. Die meisten festländischen Ablagerungen sind arm an organischen Resten. Die lineare Anordnung der Flußrinnen bedingt es, daß deren Fauna, besonders im Querschnitt ihres Lebensraumes, nur vereinzelt in größerer Zahl auftritt. Charakteristisch ist die lokale Häufung von Pflanzen- und Tierresten in den weiten Wüsten des Festlandes. Fundorte im Buntsandstein von Basel, Hildburghausen und Bernburg, oder im Keuper von Stuttgart und Halberstadt sind nur verständlich, wenn wir sie als belebte Oasen in lebensfeindlichen Sandflächen betrachten.

Der Fundort einer formenreichen Fauna hat oft dieser und dem sie umhüllenden Gestein den Namen gegeben (wie Gilsakalk, Coblenzquarzit, Konjepruskalk, Visekalk u. a.). Besonders in den Alpen haben sich Ortsbezeichnungen, wie Recoaro, St. Cassian, Esino, Lunz, Hallstadt als stratigraphische Bezeichnung erhalten.

Indem wir die Fundorte mit dem gleichen Fossilgehalt verknüpfen, erhalten wir die Grenzen des Fundraumes einer Fauna oder Flora; in vielen Fällen werden wir ihn als den ehemaligen Lebensraum derselben betrachten dürfen. Allein wenn wir bedenken, daß der Paläon-

tolog nicht die Verbreitung der lebenden Formen verfolgen kann, sondern meist nur die Ausdehnung ihres Leichenfeldes überschaut, dann hängt es ganz von der Lebensweise des einzelnen Tieres ab, wie weit sich beide Grenzen decken oder voneinander entfernen können.

Alle am Boden angehefteten, mit kräftigen Schalen versehenen Tiere bleiben da liegen, wo sie sterben. Alle leichteren Skeletteile und alle passiv oder aktiv schwimmenden, ebenso wie die schwebenden Organismen finden wir nicht nur da, wo sie lebten, sondern auch dort, wohin sie gedriftet und verschleppt wurden.

Die meisten fossilen Einschlüsse dürfen wir als gleichalterig mit dem sie umhüllenden Trümmergestein oder Niederschlag betrachten. Eine sehr wichtige Ausnahme hiervon bildet der in Norddeutschland so weit verbreitete diluviale Blocklehm. Er enthält fast keine gleichalterigen Fossilien, sondern ausschließlich Gesteinsbrocken mit fossilen Einschlüssen auf zweiter Lagerstätte, die im Ostseegebiet anstanden, ganz verschiedenen älteren Formationen angehörten und weil sie nebeneinander die pliozäne Landoberfläche bildeten, gleichzeitig von den Eisdecken abgepreßt und weit nach Süden verfrachtet wurden. Als das diluviale Eis schmolz, blieben die älteren Fossilien mit dem sie umhüllenden Gesteinsmaterial im diluvialen Geschiebemergel zurück.

Angesichts dieser Erscheinung hat man auch in vielen anderen Fällen aus der Abnutzung und Abrollung einzelner Fossilien in manchen marinen und limnischen Ablagerungen geschlossen, daß ihr Fossilgehalt ganz oder teilweise auf zweiter Lagerstelle liege.

Wenn wir an der Basis einer jüngeren Schichtenfolge abgerollte fossilführende Gesteine einer älteren Periode als „Grundkonglomerat" beobachten, wenn in einem Flußsand Gerölle von Jurakalk mit Jurafossilien liegen, dann kann man nicht daran zweifeln, daß eine Umlagerung erfolgt ist. Wenn aber in einem Diluvialkies nicht-abgerollte Elefanten- und Raubtierknochen mit abgerollten Zähnen und Knochenresten von Mastodon und Hippopotamus gemischt sind, dann erscheint dieses Zusammenvorkommen nicht unverständlich. Denn während die Reste der Wassertiere notwendig gerollt und abgenutzt wurden, konnten die Reste der auf dem Ufergelände sterbenden Säugetiere so rasch in die Flußablagerungen eingebettet werden, daß sie keine Abnutzungsspuren zeigen.

Wenn sich die lithologische Beschaffenheit nach dem Hangenden ändert, wechselt der Fossilgehalt oftmals so rasch, daß in demselben Aufschluß ganz verschieden zusammengesetzte Floren und Faunen übereinander liegen. Diese paläontologischen Unterschiede können nicht sorgfältig genug berücksichtigt werden. Der Sammler darf nur den Fossilgehalt eines völlig gleichartigen Gesteins vereinen und muß ihn von den Fossilien anderer Gesteine scharf sondern.

Wenn z. B. in einer fossilleeren Sandsteinablagerung eine fossilreiche Tonschicht eingeschaltet ist, so kann deren Fossilgehalt nicht als zum benachbarten Sandstein gehörig betrachtet werden, denn Fossil und Gestein sind durch ursächliche Bedingungen ebenso eng verknüpft, wie ein biologischer Standort mit den darauflebenden Organismen. Alltägliche Erfahrung zeigt uns, wie streng selbst wildwachsende Pflanzen mit leichtbeweglichen Samen an bestimmte Standorte geknüpft sind und dasselbe gilt für die Verteilung der Organismen am Meeresgrund.

Unter dem Einfluß rein systematischer Gesichtspunkte hat man in den vergangenen Jahrzehnten die fossilen Überreste mancher größeren Museen zoologisch geordnet und die an einem bestimmten Fundorte zusammengefundene Fauna in der Sammlung nach Familien, Gattungen und Arten getrennt und zerrissen. Diese Zerlegung wertvoller Suiten muß die Benutzung älterer Sammlungen für bionomisch und paläogeographisch gerichtete Arbeiten sehr erschweren. Es wäre dringend zu wünschen, daß künftighin in kleinen und großen Sammlungen die zusammengefundene Fauna oder Flora eines lithologisch einheitlichen Fundortes zusammenbleibe, denn der Fossilgehalt des Fundortes muß immer die natürliche Einheit und den Ausgangspunkt für jede Art wissenschaftlicher Verwertung bilden.

Manche Gesteine haben ihren ursprünglichen Fossilgehalt nachträglich verloren. Die Diagenese bei der Verfestigung des umhüllenden Gesteins hat den Kalkgehalt molekular verändert, chemisch verwandelt oder durch Lösung entfernt und viele Reste so fest in die verbindende Gesteinsmasse eingefügt, daß wir sie zwar auf dem Querbruch erkennen, aber nicht herauszulösen vermögen. Besonders in größeren Kalkmassen ist es oft ungemein schwierig, die im Umriß deutlich erkennbaren Schaltiere freizulegen. Im Dachsteingebiet schreitet man oft stundenlang über zahlreiche Querschnitte der Dachsteinbivalve (Megalodon) und vermag doch keine der großen dickschaligen Muscheln aus dem Gestein zu lösen. Nur gelegentlich umhüllt eine rötliche Kalkmasse die Schalen und man kann durch Anzünden eines Feuers und Aufwerfen von Schnee den muschelreichen Block so zerlegen, daß die eine oder andere Schale frei herausspringt.

Bisweilen hat die Verwitterung der Fossilien diesen Verband gelöst und auf der angewitterten Fläche tritt der fossile Rest wieder deutlich zutage. Obwohl solche spätere Umwandlungen mit der ursprünglichen Verteilung des Fossilgehaltes nichts zu tun haben, entstehen auf diesem Wege leicht lokale Fundstellen von reichem, wundervoll erhaltenem Fossilgehalt inmitten unergiebiger fossilarmer Felsmassen. Ihr nesterartiges Auftreten bedingt rasche Erschöpfung und der Sammler soll gerade an solchen Fundstellen mit besonderer Umsicht arbeiten, damit nicht kleine und unscheinbare Reste verloren gehen. Langandauernde

Verwitterung, Abwehung durch den Wind oder Auswaschung durch strömendes Wasser haben oftmals nur die Grundmasse fossilführender Gesteine entfernt, aber die fossilen Einschlüsse, weil sie härter oder schwerer waren, an Ort und Stelle gelassen und relativ angehäuft. Wir bezeichnen eine solche oberflächliche Anreicherung von gröberen Gesteinsbrocken (Grundkonglomerat), härteren Mineralien (Saifen) oder Fossilien als Lesedecke. Oft war auch ein Fundort nur deshalb fossilreich, weil verkieselte organische Reste in einer Lesedecke oberflächlich angehäuft waren, nach deren Entfernung das liegende Gestein verhältnismäßig fossilarm zutage tritt.

Jeder fossile Fund muß auf der Karte ganz genau topographisch festgelegt werden, weil eine Fülle von bionomischen Betrachtungen auf der geographischen Lage des Fossilfundes beruhen. Ebenso wichtig ist seine erdgeschichtlich-chronologische Einordnung in die örtliche Schichtenfolge. Nur wenn Ort und Lager des Einzelfundes sorgfältig bestimmt sind, erhält das Fossil seinen wissenschaftlichen Wert. Daher muß die Beischrift (Etikette) mit dem Einzelfund untrennbar verbunden bleiben. Stücke ohne genaueste Fundortsangabe sind für eine weitere Bearbeitung ungeeignet.

Abel, O., Grundzüge der Paläobiologie der Wirbeltiere. Stuttgart 1912. — Abel, O., Bericht der Sektion für Paläozoologie. Die Aufgaben und Ziele der Paläozoologie. Verh. zool.-bot. Gesellsch. Wien 1907. S. 67. — Arldt, Th., Handbuch der Paläogeographie. Band I: Paläaktologie. Erster Teil. Leipzig 1917. — Bernard, F., Elements de Paleontologie. Paris 1895. — Geyer, D., Verschollene Quartärmollusken. Nachrichtsblatt d. Deut. Malakozoolog. Gesellsch. Heft 3, 1918, S. 81. — Grabau, A., Principles of Stratigraphy. New York 1913. — Kayser, E., Lehrbuch der Allgemeinen Geologie. Vierte Auflage. Stuttgart 1912. — Keilhack, K., Lehrbuch der praktischen Geologie. I. Band. Stuttgart 1916. — Koken, E., Die Vorwelt und ihre Entwicklungsgeschichte. Leipzig 1893. — Koken, E., Die Leitfossilien. Ein Handbuch für den Unterricht und für das Bestimmen von Versteinerungen. Leipzig 1896. — Jaekel, O., Die Wirbeltiere. Eine Übersicht über die fossilen und lebenden Formen. Berlin 1911. — Neumayr, M., Erdgeschichte. Erster und zweiter Band. Leipzig und Wien 1895. — Osborn, H. F., The Age of Mammals in Europe, Asia and North America. New York 1910. — Osborn, H. F., The Present Problems of Paleontology. Popular Science 1906, S. 226. — Schuchert, Ch., Biologic Principles of Paleogeography, Popular Science 1910, S. 591. — Stromer v. Reichenbach, E., Lehrbuch der Paläozoologie. Leipzig u. Berlin 1912. — Walther, J., Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. Jena 1893. — Walther, J., Geschichte der Erde und des Lebens. Leipzig 1908. — Wedekind, Über die Grundlagen und Methoden der Biostratigraphie. Berlin 1916. — Zeiller, R., Elements de Paléobotanique. Paris 1900.

3. Die Schichtung

Man pflegt die Gesteine in Massen- und Schichtgesteine einzuteilen, aber selten ist eine so unrichtige und irreführende Namengebung vorgeschlagen worden. Jeder Geologe weiß, wie oft Kalk und Dolomit, Löß und Sandstein, Salz und Gips in ungegliederten Massen auftreten.

Wer die Schichten des Westrandes von Dekhan kennt, der kann es nicht begreifen, daß die nur aus vulkanischem Trapp und vulkanischen Tuffen bestehenden Tafeln zu den Massengesteinen gehören sollen.

Die Umstände, unter denen Lösungen in feste Niederschläge verwandelt werden, machen es verständlich, daß in einem Salzsee oder einer Therme gleichzeitig mit der Bildung des Niederschlages keine Lebewesen existieren können. Auch die aus dem Glutfluß entstandenen Ergußgesteine können keine gleichzeitigen Fossilien enthalten.

Zwar sieht man im Museum zu Melbourne den Abguß eines fossilen Baumstammes im Basalt erhalten, aber hier hat eine Ascheneruption den Stamm umhüllt und der durch Vermodern des Holzes entstandene Hohlraum ist nachträglich durch einen Lavastrom ausgegossen worden.

Dagegen finden wir oftmals Fossilien in magmatischen Trümmergesteinen (Tuffen), wenn die auf dem Festland oder am Meeresgrund fallenden Aschen lebende Wesen vernichteten und umhüllten. Man denke, wie die fliehenden Pompejaner in Wolken feinster Vesuvasche erstickten und von dem Aschentuff so hermetisch umschlossen wurden, daß man die Form des von ihrem Körper hinterlassenen Hohlraums mit Gips ausgießen kann. So wurde manche fossilreiche Flora oder Fauna zwischen devonischen Diabastuffen oder permischen Aschengesteinen erhalten. Eingelagerte Magmagesteine (Tiefengesteine) und Niederschläge (Mineralgänge) sind selbstverständlich stets fossilleer.

Viele Gesteine werden in größere oder kleinere Massen zerlegt, die von Trennungsebenen (Fugen) begrenzt sind; sie bedingen das Gefüge der Felsmasse. Wir müssen scharf unterscheiden zwischen den ursprünglichen Schichtungsfugen des Gesteins gegenüber seinem Nachbargestein und den Klüften, welche nachträglich innerhalb der vorher einheitlich gebildeten Felsmasse entstanden sind.

Die ursprünglichen Trennungsfugen eines aufgelagerten Gesteins sind die Unterkante, welche es von seinem Liegenden, und die Oberkante, die es von seinem Hangenden ablösen läßt. Den senkrechten Abstand zwischen beiden nennen wir seine wahre Mächtigkeit.

Kommt ein gesteinsbildender Vorgang zu Ende, dann entsteht die Oberkante, die meist als Abschluß des Liegenden zur Unterlage der nächstfolgenden hangenden Gesteinsmasse wird. Ist die Oberkante parallel der Unterkante, dann entsteht eine horizontale Gesteinsplatte (Schicht oder Bank). Wenn durch wiederholten Wechsel des Gesteinsmaterials härtere und weichere Schichten übereinander folgen, sprechen wir von Wechsellagerung. Die Böschung eines von verschieden harten Bänken aufgebauten Berges wird von Stufen umzogen, deren Absätze durch die Schichtenköpfe der härteren Felsplatten gebildet werden. Auch wenn die ursprünglich horizontale Auflagerung der Schichten nachträglich verbogen oder durch Faltung verschoben wurde, treten

die Schichtenköpfe zwischen schuttbedeckten oder bewachsenen flachen Böschungen als Felsrippen deutlich im Gelände hervor.

Die Form der Unterkante ist durch die Oberfläche des Bildungsraums bedingt. Eine von Karrenspalten zerschnittene Kalkplatte oder ein zertaltes Tafelland bedingt eine andere Unterkante, wie ein horizontaler Seeboden.

Die Oberkante einer Felsmasse wird durch die Art ihrer Entstehung geformt. Eine Sandbank oder eine Düne, ein Korallenriff oder ein submariner Vulkan erhalten eine andere Oberkante, als sie durch die beständige Bewegung und die Schwerkraft auf einer Schlamm- oder Sandebene entstehen muß.

Betrachten wir von diesen allgemeinen Gesichtspunkten ein aufgelagertes Gestein, so werden wir zunächst aus dessen Unterkante die Gestalt des Hohlraumes erschließen, innerhalb dessen es aufgelagert wurde. Ein engbegrenzter Salzsee bedingt eine andere untere Grenzfläche als eine felsige Klippe, auf der ein Riff wuchs, oder der ebene schlammige Meeresgrund, über den sich eine dünne Schicht organischen Kalksandes ausbreitete. Denn das ursprüngliche Gefüge des Gesteins, also seine Gliederung in Schichten, Bänke oder Zungen, wird bedingt durch die während der Ablagerung vorübergehend entstehenden oberen Grenzflächen des Sedimentes. Jede Schichtenfuge ist die Oberkante des Liegenden und zugleich die Unterkante des Hangenden, entspricht also einer gleichzeitigen Auflagerungsfläche, deren Form wir im Querschnitt des Profils oder auf einer abgedeckten Oberfläche untersuchen können.

Nicht immer lassen sich die G r e n z f u g e n zwischen überlagernden Gesteinen schon im frischen Aufschluß erkennen und der innere Aufbau der Ablagerung tritt erst deutlich zutage, wenn lang andauernde Verwitterung die feineren Unterschiede herausmodelliert hat. Gesteinsfugen, die vorher kaum erkennbar waren, gliedern jetzt die Gesteinsfolge und lassen Diskordanzen, Gänge, Schichtenköpfe, Linsen und Wechsellagerung im Landschaftsbild hervortreten. So kann die Deutlichkeit der Schichtung oft nur der Ausdruck kürzerer oder längerer Anwitterung sein.

Wir haben uns so daran gewöhnt, überall nur ganz allmähliche Veränderungen unserer Umwelt zu sehen, und glauben daher, auch die ganze Erdgeschichte setze sich nur aus zahllosen unmerklichen Übergängen zusammen.

Aber die meisten Gesteine, die nacheinander gebildet wurden, sind nicht durch allmähliche Übergänge miteinander verknüpft, ihre Grenzen sind in der Regel scharf gesondert und auf einer nur zentimetermächtigen Schicht liegt oft unvermittelt ein ganz anders geartetes Gestein.

Denn ebenso wie in der organischen, so sind auch in der anorganischen Welt die allmählichen Übergänge keineswegs häufig, weil bei

längerer Dauer bestimmter äußerer Umstände ein Gleichgewichtszustand erreicht wird, der nur infolge eines besonders starken Wechsels der Bildungsbedingungen überwunden werden kann.

Wir sprechen von undeutlicher Schichtung, wenn sich zwei verschiedenartige Ablagerungen ohne scharfe Grenze überlagern oder durch vermittelnde Zonen von Konkretionen getrennt werden.

Ungeschichtet nennen wir ein Gestein, das in einem gegebenen Aufschluß keine trennenden Fugen erkennen läßt. Diese Definition deutet schon darauf hin, daß es oft nur an zufälligen Umständen liegt, wenn wir in einer Ablagerung keine innere Gliederung beobachten.

Es ist leicht zu verstehen, daß eine Ablagerung, die aus demselben Material gleichzeitig und wie aus einem Guß entstand, keine inneren Trennungsfugen enthalten kann. Der diluviale Bergsturz von Flims hat eine ungeschichtete Bresche von 100 m Mächtigkeit gebildet, in welcher bestoßene und entkantete Riesenblöcke mit kleinen und kleinsten Stücken bunt gemischt sind. Wenn eine Eisdecke regional von oben her abschmilzt und verdunstet, dann bildet sich eine ungeschichtete Decke von Geschiebelehm, in deren sandig-toniger Grundmasse kleine und große Blöcke regellos verteilt sind.

Durch Muhrgänge entstehen ähnliche Bildungen, und wenn die Flächenspülung eine weite Kieswüste ergreift, dann wälzt sich ein zäher Steinbrei durch die Trockentäler der Wüste und erstarrt endlich zu einem großen ungeschichteten Schlammfächer auf der vorgelagerten Ebene.

Wenn langandauernde Verwitterung eine mächtige Verwitterungsdecke erzeugte, dann reicht ein kurzes Erdbeben hin, um solche Massen von gelockertem Material beweglich zu machen, daß ganze Talgehänge ins Gleiten kommen und tiefe Wannen mit unsortiertem, ungeschichtetem Material ausgefüllt werden können.

Ähnlich liegen die Verhältnisse, wenn eine große Magmamasse aus unterirdischen Herden empordringt und als plutonischer ungeschichteter Granitstock erstarrt, als mächtiger Lagergang sich zwischen aufblätternde Schichten drängt, als hohe Quellkuppe emporwächst oder in Spalten und Kanälen als Gang oder Lavapfropf erstarrt. Die Eruption des Mont Pelé hat uns mit Vorgängen vertraut gemacht, bei denen ungeschichtete Tuffe aus dicken Aschenwolken niedergeschlagen werden.

Diesen einheitlich entstandenen ungeschichteten Gesteinen stehen andere schichtungslose Felsarten gegenüber, die im Laufe längerer Zeiträume durch andauernde Auflagerung entstanden sind. Sandsteine und Tongesteine, dichte Kalke und Dolomite, Gips und Salz, Torf und Kohle treten uns oft in mächtigen ungegliederten Massen entgegen und regen schwierige erdgeschichtliche Probleme an:

Es gilt zunächst zu erklären, weshalb so lange Zeiträume hindurch kein Fazieswechsel eingetreten ist und die Grenzen des Bildungsraumes

nicht verschoben wurden? Damit ist die Frage verbunden: weshalb jahrhunderte- und jahrtausendelang immer dasselbe anorganische oder organische Trümmergestein aufeinander gelagert, derselbe chemische Stoff niedergeschlagen wurde? Endlich müssen wir uns fragen: weshalb das Medium des Bildungsraumes (Wasser oder Luft) nicht durch seine Bewegung eine Umlagerung, Sortierung und Schichtung des Materials hervorrufen konnte, weshalb nicht wenigstens die fossilen Überreste in horizontalen Schichten eingefügt wurden oder nachträglich durch Diagenese eine geschichtete Umlagerung erfolgt ist?

Betrachten wir zunächst die anorganischen Trümmergesteine wie Sand und Ton oder Schlamm, so setzten sie voraus, daß während ihrer lang andauernden Bildung immer Material von derselben Korngröße und derselben Zusammensetzung herbeigebracht wurde. Dieser Vorgang ist nur verständlich, wenn größere Vorräte des betreffenden Verwitterungsmaterials bereit lagen, so daß die Nachfuhr nicht unterbrochen wurde.

Ton- und Sandgesteine von größerer Mächtigkeit und gleichartigem Korn können auf dem Festland wie in Binnenseen oder im Meere nur dann abgelagert werden, wenn Massen feinen Sandes oder Staubes durch äolische Deflation aus einem gemischten Sediment herausgeholt wurden, und aus der Atmosphäre mit oder ohne Regen wieder herabfielen. Denn das Wasser, das neben der feinsten Flußtrübe auch groben Sand und Kiesel zu transportieren imstande ist, wird stets Schichten von verschiedener Korngröße ablagern.

Wenn die Dünen eines Sandmeeres in Bewegung geraten und in das nahe Meer wandern, dann sind alle Bedingungen gegeben, um auch marine Sandsteine ohne Schichtung zu erzeugen. Längs der Westküste von Nordafrika im sog. Dunkelmeer fallen so ungeheure Mengen von äolischem Staub ins Meer, daß hier mächtige ungeschichtete marine Tone entstehen. Solche „äolisch-marine“ Sedimente sind meist ungeschichtet, die Fossilien sind ihnen regellos eingeordnet, und wo sie vom Gebirgsdruck später gepreßt wurden, da entstanden dünnplattige Tafelschiefer oder gleichkörnige Griffelschiefer.

Die Entstehung ungeschichteter Kalke beruht auf ganz anderen Umständen. Denn die aus zertrümmerten Schalenresten gebildeten Kalkbreschen, Kalksande und Kalkschlamme würden am Boden des Meeres durch das bewegte Wasser in horizontale Schichten ausgebreitet und nach ihrer Korngröße sortiert werden, wenn nicht koloniebildende Tiere und inkrustierende Organismen alle diese Kalktrümmer zusammenhalten, so daß hierbei Kalkriffe entstehen, deren Oberfläche niemals von den Wellen eingeebnet wurde und die daher als ungeschichtete Kalkmasse emporwuchsen. In Rifflücken oder offenen Lagunen entstand lokale Schichtung und wo das Riff über den Meeresspiegel emporstieg, da bildeten sich sogar Kalkdünen mit ausgeprägter Diagonalschichtung.

Indem ein Riff, unter günstigen biologischen Bedingungen wachsend, sich immer höher über den umgebenden Meeresgrund erhebt, und immer wieder unbefestigter Kalksand an seinen Abhängen in die Tiefe hinabgleitet, umgibt es sich mit Mänteln oder Schleppen von steiler ursprünglicher Böschung. Diese mit benachbarten, wohlgeschichteten Fazies wechsellagernden und in diesen auskeilenden Kalkschichten hat Liebe als Vorriff bezeichnet; die dabei entstehende Schichtung wurde von v. Mojsissowics Übergußschichtung genannt. Dieser wohldefinierte Ausdruck ist leider von manchen Autoren auf Deltastruktur oder Diagonalschichtung angewendet worden.

Wenn ein Kalkriff in Dolomit, Phosphorit, Gips oder Eisenerz verwandelt wurde, so ging nicht etwa eine ursprüngliche Schichtung verloren, und selbst manche Linsen von ungeschichtetem Marmor im kristallinischen Grundgebirge möchte ich als ehemalige Riffe betrachten.

Die Entstehung ungeschichteter Moderlager können wir leicht beobachten, aber ihre Mächtigkeit ist gering, verglichen mit den mächtigen Braunkohlenlagern im Tertiär. Wenn in Deutschland ungeschichtete Braunkohle 110 m mächtig, im südlichen Australien sogar ein Braunkohlenlager von 250 m durchbohrt wurde, so erhebt sich hier ein lithogenetisches Problem, das man mit dem Schema „autochthon“ und „allochthon“ nicht abtun kann.

Auch bei der Bildung der Steinkohlenlager tritt dieselbe Frage wieder auf. Denn wenn ein Meter Steinkohle einer ursprünglichen Pflanzenmenge von 10 m Mächtigkeit entspricht, so müssen wir fragen, weshalb in dem betreffenden Bildungsraum im Laufe langer Jahrtausende weder durch Wasserüberflutung noch durch Staubüberwehung anorganische Zwischenschichten gebildet wurden?

Auch die Bildung mächtiger ungeschichteter Anhydrit- und Gipsmassen oder Salzstöcke fordert, daß an der betreffenden Stelle der Erdoberfläche aus den dort vorhandenen Lösungen lange Zeiträume hindurch, ununterbrochen derselbe Niederschlag erfolgte und bei dem Wechsel aller Dinge Bildungsraum und Bildungsvorgang unveränderlich blieben.

Jede, noch so mächtige ungeschichtete Gesteinsmasse besitzt aber ebenso eine untere wie obere Grenze, die sie von anders gearteten Gesteinen abtrennt und hier tritt uns das Problem entgegen, weshalb die sich überlagernden Gesteine nur selten allmählich ineinander übergehen, sondern viel häufiger in scharfem Wechsel aufeinanderfolgen. Das Problem vervielfältigt sich, sobald geringmächtige Gesteinsschichten miteinander wechsellagern oder dickere Bänke eines bestimmten Gesteins durch dünne Zwischenschichten eines anderen getrennt werden.

Um einen solchen Materialwechsel in der fortlaufenden Gesteinsfolge zu verstehen, muß man im Auge behalten, daß jede noch so dünne Zone innerhalb einer gleichartigen Sedimentmasse, ebenso wie die Grenz-

fuge, welche zwei verschiedene Ablagerungen trennt, zur Zeit ihrer Bildung vorübergehend die Oberfläche der betreffenden Ablagerung bildete. Genau so wie in einem entstehenden Manuskript jede Zeile des Textes einmal als Ende desselben und jedes Kapitelende vorübergehend als Abschluß des Buches erschien, so ist jedes Sedimentteilchen, sofern es sich nicht um den gleichzeitigen Transport größerer Massen handelt, einmal die Oberfläche einer Ablagerung gewesen und jede Schichtenfuge bildete den Abschluß eines einheitlichen Ablagerungsvorganges.

Schichtung entsteht also durch einen Fazieswechsel oder eine Änderung des abgelagerten Materials, und da jedes Gestein von den Bedingungen seiner Bildung so abhängig ist, daß die geringste Veränderung derselben die Eigenschaften der Ablagerung wandelt, so ergibt sich, daß deutliche Schichtung einem unvermittelten Wechsel in den lithogenetischen Bedingungen entspricht.

Obwohl die Schichtung von grundlegender Bedeutung für die lithologische oder paläontologische Gliederung einer Gesteinsfolge ist, so enthält sie doch zunächst keine Zeitbestimmung. Denn wir werden bei Besprechung der Mächtigkeit zu zeigen haben, daß eine dünngeschichtete Ablagerung einer schichtungslosen Felsmasse zeitlich äquivalent sein kann; nur eine diskordante Schichtenfuge bedarf zu ihrer Entstehung einen größeren Zeitraum.

Wenn jede Schichtenfuge einmal die äußere Begrenzung der Lithosphäre bildete, so gibt uns das Studium der Oberflächenformen neu gebildeter Ablagerungen den Schlüssel für die Entstehung und Beurteilung der Schichtung.

An der Oberfläche der heutigen Lithosphäre beobachten wir überall den grundsätzlichen Gegensatz zwischen Abtragung und Auflagerung und dieser tritt im Schichtenbau der Erdrinde als diskordante und konkordante Lagerung auf.

Eine diskordante Schichtenfuge entsteht durch die Überlagerung eines vorher denudierten Gesteins mit einer neuen Ablagerung. Wir werden daher bei Beurteilung einer Diskordanz die Oberkante der liegenden Gesteinsreihe auf die Wirkung abtragender Kräfte zurückzuführen haben und auf Geländeformen, die wir heute unter verschiedenem Klima und verschiedenen Abtragungskräften entstehen sehen — von der schuttbedeckten Steilwand im Hochgebirge bis zu dem mit Flußschlamm erfüllten Wasserriß oder der vom Winde ausgehobenen Wanne, in welcher rote Letten oder bunte Sande abgelagert werden, von der Rundhöckerlandschaft, über die sich der Geschiebelehm breitet, oder den Meeresklippen, auf denen sich ein Kalkriff ansiedelt.

Die neugebildete Ablagerung muß sich der Böschung des vorher entstandenen Geländes anschmiegen und so werden hier zunächst flach

geneigte Schichtenflächen entstehen, die erst allmählich in die Horizontale übergehen.

Welchem Zeitintervall eine diskordante Fuge entspricht, läßt sich der Schichtenfuge nicht ohne weiteres ansehen.

Manche Diskordanz im Rotliegenden, Buntsandstein oder Muschelkalk verdankt ihren Ursprung nur dem Sedimentwechsel im Laufe der Jahreszeiten, während die diskordante Fuge, die wir am Bohlen zwischen Kulm und Zechstein beobachten, einem Zeitraum entspricht, während dessen im Saargebiet fast siebentausend Meter Gestein entstanden. Hier läßt sich an einem einzigen Handstück die Dauer geologischer Zeiträume erläutern.

Da wir die tektonischen Überschiebungen nicht zu den Diskordanzen rechnen, läßt sich aus der Lagerung der durch eine wirkliche ursprüngliche Diskordanz verbundenen Gesteine leicht erkennen, welche geologischen Ereignisse in der Zwischenzeit erfolgten.

Wenn die liegenden Gesteine gefaltet oder gebrochen sind, muß auf die Ablagerung derselben: diagenetische Verfestigung, tektonische Störung und Einebenung der gestörten Geländeformen gefolgt sein, ehe die Bildung der hangenden Gesteinsreihe begann.

In manchen Fällen zeigt uns der Fossilgehalt scheinbar konkordant liegender Gesteine, daß eine maskierte Diskordanz vorliegt. Nach einer kürzeren oder längeren Unterbrechung der Sedimentation wurden die früher gebildeten Gesteine nicht disloziert und nur teilweise abgetragen, bevor die Ablagerung wieder einsetzte.

Jede konkordante regelmäßige Schichtung eines durch die gleichen Fossilien als einheitlich erkannten Schichtenstoßes ist, wie wir oben zeigten, nicht durch zeitliche Unterbrechung des Ablagerungsvorganges, sondern durch einen Wechsel der Fazies und der lithogenetischen Umstände bedingt.

Für die Beurteilung des Fazieswechsels ist es notwendig, darauf hinzuweisen, daß sich nur solche Fazies konkordant überlagern können, die in demselben Faziesbezirk nebeneinander gebildet werden oder gebildet werden können. Daraus ergibt sich auch, daß die Wechsellagerung, bei der in regelmäßigem oder unregelmäßigem Rhythmus zwei verschiedene Ablagerungen wiederholt übereinander gelagert wurden, besonders leicht an den Grenzen des Ablagerungsraumes entsteht. Denn indem sich diese verschieben, ändert sich gleichzeitig die Verteilung der dort gebildeten Sedimente und ein oszillierendes Schwanken dieser Grenzen bedingt die Wiederkehr derselben Gesteinsart, nachdem vorübergehend eine andere gebildet wurde.

Wenn aber eine größere Gesteinsfolge durch regelmäßige Wechsellagerung ausgezeichnet ist, so ist es wahrscheinlich, daß sie auf dem Festland unter periodischer Wasserbedeckung oder am Boden der Flach-

see unter einer geringen Wasserdecke entstand. Denn mit zunehmender Wassertiefe schwinden die durch die Jahreszeiten bedingten Änderungen der lithogenetischen Vorgänge und in der eigentlichen Tiefsee kann das atmosphärische Klima keinen Gesteinswechsel hervorrufen.

Aufs innerste verwandt in der Wechsellagerung ist die auskeilende Schichtung bei der eine Gesteinsmasse innerhalb eines Profils sich immer mehr verschmälert und endlich in eine fast unmerklich dünne Zwischenlage übergeht, welche liegende und hangende Massen trennt. Ablagerungen, die im Beobachtungsbereich nach allen Seiten auskeilen, nennen wir Linsen. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß jede Ablagerung und mithin jedes aufgelagerte Gestein eigentlich eine riesige Linse bildet.

Wenn ein Gestein auskeilt, können wir am deutlichsten beobachten, daß die Schichtungsfugen, die eine gleichartige Gesteinsmasse gliedern, weiter nichts sind, als bis zu großer Dünne zusammengeschrumpfte Zwischenschichten.

Eine große Rolle in der älteren Literatur spielt die Deltaschichtung. Man versteht darunter ein regellos geschichtetes Gefüge aus Sand oder Kies, wie es in Gebirgsbächen oder durch das Schmelzwasser abtauender Gletscher in fluvioglazialen Sanden und Kiesen des nordischen und alpinen Diluviums oft zu beobachten ist.

Man muß das riesige Delta des Nil oder des Ganges längere Zeit studiert haben, um zu wissen, daß hier die sogenannte Deltaschichtung gar nicht verbreitet ist, daß vielmehr völlig horizontale dünn geschichtete, feinsandige Schichten über ungeheure Flächen in regelmäßiger Konkordanz zu beobachten sind. Man sollte daher die sogenannte Deltaschichtung lieber Strudelschichtung nennen, um sich vor irrigen Schlüssen zu hüten.

Die Dünenschichtung oder „Kreuzschichtung" besteht darin, daß innerhalb einer durch ebene Schichtfugen begrenzten Schicht in der Diagonale, unter sich parallele, Schichtfugen auftreten. Sie findet sich bei Sandsteinen und aus Kalksand entstandenen reinen Kalken und ist der Ausdruck dafür, daß der untere Teil eines aus konzentrischen Schichten aufgebauten Sandhügels erhalten blieb, während sein Gipfel weiterwanderte. In der Regel entsteht die diagonale Schichtung auf dem Festland über dem Wasserspiegel durch Dünen, welche beim Weiterwandern ihre noch feuchte oder sogar schon verfestigte Basis am Bildungsorte stehen lassen. Da die Luvseite einer Düne 5—10°, ihre Leeseite etwa 30° geböscht ist, müßte man aus dem Winkel der Diagonalschichtung ohne weiteres die herrschende Windrichtung ablesen können. Aber da größere Sandmeere nur durch Gegenwinde entstehen, so wechselt innerhalb der hin und her bewegten Sandhaufen Luv- und Leeseite so oft, daß dadurch jene Regel verwischt wird. Während in

den Quarzsanddünen der durch Grundwasser befeuchtete Kern stehen bleibt und nur die trockene obere Hälfte wandert, können Kalksanddünen während der tropischen Regenzeit in ihrer unteren Masse verkittet werden und dadurch leichter erhalten bleiben. Auch die im Flachwasser nahe der Küste entstehenden Oolithe sind für Dünenbildung sehr geeignet und zeigen daher häufig Diagonalschichtung.

Gipsdünen in ariden Gebieten deuten darauf hin, daß auch Gipslager diagonal geschichtet sein können.

Bei der Bildung vulkanischer Ringberge durch ausgeworfene Bomben und Aschen entsteht eine eigentümliche Struktur, die wir Kraterschichtung nennen wollen. Sie besteht darin, daß die auf ebener Unterlage zunächst horizontal geschichteten Aschen während der folgenden Eruptionszeit mit immer wachsendem Böschungswinkel um den vulkanischen Schlot kreisförmig aufgeschüttet werden, so daß schließlich ursprüngliche Böschungen von 35° entstehen. Solange die Eruption lebhaft ist, fallen alle diese Tuffschichten vom Mittelpunkte des Kraters ab, weil die aufsteigende Dampfsäule das Zurückfallen der Asche verhindert. Erst wenn die eruptive Tätigkeit erlischt und besonders nachdem sich der Krater durch Einsturz und Abtragung erweitert hat, legen sich neue Aschenschichten auch auf die innere Böschung, meist durch eine diskordante Trennungsfuge von der älteren Kraterruine gesondert, und dann kann jenes Bild entstehen, das der von Linck angegebene Apparat erzeugt. Bei weitergehender Denudation eines polygenen Vulkans werden sich die neugebildeten Tuffe allen vorhandenen Geländeformen in so mannigfaltiger Weise auflagern und das zerschnittene Hügelland mit seinen Tälern und Maarbecken in so mannigfaltiger Weise verebenen, daß alle Formen der Schichtung in einem solchen polygenen Vulkan auftreten können.

Schon im Atrio del Cavallo kann man beobachten, welche Rolle der Wind bei der Umlagerung der vulkanischen Aschen spielt und wie leicht hier aus feinen Staubaschen ungeschichtete Tonlager und aus gröberem Sand diagonal geschichtete Dünen entstehen. Viel großartiger kann man den letzteren Vorgang im berühmten Sandsee des Tengger auf Java beobachten, wo nebeneinander durch den Wind Dünen von mehreren Metern Höhe und während der Regenzeit geschichtete Tuffe gebildet werden. Beide Strukturen wird man in größeren Vulkangebieten der Vorzeit also häufig vereint finden.

Bei jeder dünnen oder dickeren Schicht wird uns immer wieder das Problem zu beschäftigen haben, weshalb in dem einen Fall die Korngröße und Beschaffenheit des Sedimentes früher, im anderen Fall erst nach längerer Zeit wechselte; und wenn zwei verschiedene Sedimente in Wechsellagerung übereinandergeschichtet sind, wird die rhythmische Wiederkehr desselben Materials eine Erklärung fordern.

Schichtenfugen als abschließende Oberfläche einer neu gebildeten Ablagerung sind eine Gleichgewichtsform an der Grenzfläche zwischen zwei verschieden leicht beweglichen Massen.

Die Sandwolke, die nach einem Wüstensturm zur Ruhe kommt, bleibt noch beweglich, wenn die Luft, über sie hinweggleitend, an ihrer Oberfläche parallele, sich vergabelnde Rippelmarken erzeugt. Auf feinkörnigem Sand entstehen kleine und niedrige Sandrippen, grober Sand wird von stärkerem Wind in breitere und höhere Rippen zerlegt. Durch Wechsel der Windrichtung werden vorhandene Rippensysteme zerschnitten und neu gruppiert, aber es wird noch eingehender Studien bedürfen (und selbst unsere deutschen Küstendünen bieten dafür genügend Beobachtungsmaterial), um festzustellen, welches Verhältnis zwischen Form der Rippelmarken und Art der Luftbewegung besteht.

Auch unter Wasser entstehen Rippelmarken, aber da die Wasserbewegung mit zunehmender Tiefe nicht mehr bis zum Grunde reicht, so sind sie an die Seichtwasserzone gebunden.

Wenn eine aus Sand und Schlamm gemischte Ablagerung in ein bewegtes Wasserbecken getragen, oder nach der Ablagerung das Wasser stürmisch bewegt wird, dann wird das Sediment entmischt, gewaschen und sortiert, und statt der einheitlichen, ungeschichteten, ursprünglichen Schicht entsteht jetzt eine im Liegenden grobkörnige, im Hangenden feinkörnige Doppelschicht. Häufig ist auch regelmäßige Wechsellagerung auf diesem Wege entstanden.

Innerhalb der Schichtung einer größeren Gesteinsfolge vom Liegenden nach dem Hangenden sind drei wechselnde Fälle zu unterscheiden.

Häufig wird die neue Ablagerung auf der ebenen Oberfläche der vorher gebildeten Schicht überall in gleicher Mächtigkeit aufgelagert, so daß die ganze Gesteinsfolge konkordant geschichtet ist.

Ganz anders liegen die Verhältnisse, wenn transgredierende lockere Sedimente, auf unebenem Grunde abgelagert, sich den Unebenheiten des Liegenden anschmiegen und steilere Böschung zeigen, die sich mit jeder folgenden Schicht der Horizontalen nähert.

Der umgekehrte Fall tritt ein, wenn auf ebenem Meeresgrund ein Kalkriff entsteht, oder auf wagerechtem Boden ein Aschenvulkan oder eine Sanddüne aufgeschüttet wird. In diesen Fällen wird mit zunehmender Mächtigkeit der Böschungswinkel wachsen und die anfangs horizontale Schicht von immer steiler gestellten Decken überlagert werden.

Schichtung kann durch tektonische Störungen und diagenetische Umwandlungen nur selten verloren gehen. Wohl beobachten wir im Mittelschenkel großer Faltensysteme, daß die Mächtigkeit geringer wird und endlich bis auf einen dünnen Besteg verdrückt werden kann. Ja es können auch in stärker gequälten Massen zusammenhängende Schichten in Linsen zerlegt und zerrissen werden, aber das

geschulte Auge wird selbst in einem hochgradig veränderten Paragneis den ursprünglichen Zusammenhang wieder erkennen.

Dagegen kann auf diagenetischem Wege eine vorher ungeschichtete Ablagerung durch konkretionäre Ausscheidung gelöster Stoffe nachträglich geschichtet werden. Viele ältere Gesteine sind durch Kalkknoten, verkieselte Zonen, vererzte Bänder oder Knollen und Augenreihen chemischer Entstehung geschichtet, und diese nachträglich entstandenen Einlagerungen sind vielfach geradezu als eingelagerte Gerölle betrachtet worden. Die Umstände, welche es bewirken, daß in der ungeschichteten Schreibkreide die Feuersteinknollen in so regelmäßigen Zonen angeordnet sind, daß silurische oder devonische Knollenkalke durch Kalkknoten, Kulmschichten durch Kieselbänder so regelmäßig rhythmisch gegliedert werden, sind vielfach noch nicht aufgeklärt. Am einfachsten erscheint die Annahme, daß während der Bildung des scheinbar ungeschichteten Gesteins doch in regelmäßigen Zeitabständen kleine Sedimentteilchen eingeschichtet wurden, die durch ihre Form oder chemische Beschaffenheit als Kristallisationskerne für die Niederschläge dienten.

In anderen Fällen mag der wechselnde Grundwasserstand eine Grenzzone gebildet haben, in der nach der Abtrocknung der Ablagerung chemische Ausfällungen erfolgen mußten. Endlich hat neuerdings Liesegang einen Weg gezeigt, um zu erklären, wie beim Zusammentreffen verschiedener Lösungen oder der Diffusion einer Lösung in festen Körpern eine zonare Ausscheidung von Schichten verschiedener Farbe und Härte entstehen kann. Besonders dann, wenn Farbenringe die horizontal geschichtete Ablagerung schneiden, werden wir an solche Diffusionsvorgänge denken müssen, aber die Entstehung weithin verfolgbar horizontaler und unter sich paralleler Schichtung kann auf diesem Wege nicht erklärt werden.

Bekanntlich wird alle Flußtrübe, die mit dem Strom in ein Salzwasserbecken hineingetragen wird, sofort niedergeschlagen, und so bildet sich an der Mündung großer Flüsse ein Delta und an den Küsten regenreicher Länder ein breiter Saum von grauem, gelbem, bläulichem oder grünem Kontinentalschlamm. Kein solches Schlammteilchen kann die küstenfernen tiefen Wassergebiete erreichen und so wäre hier nur die Ablagerung von planktonisch-organischen oder vulkanischen Aschenschichten möglich, wenn nicht ein universell verbreiteter Vorgang auch nach den fernen Meeresgebieten feinste Gesteinstrümmer bringt. Denn alle nicht von Wasser, Schnee oder Vegetation bedeckten festländischen Gebiete unterliegen nicht allein tiefgreifender physikalischer und chemischer Verwitterung, sondern werden auch beständig vom Winde bestrichen, der alle feinen Splitter abhebt und als Lufttrübe weiterträgt. Bei der Bildung der Regentropfen kondensiert sich der Wasserdampf der

Atmosphäre um diese kleinen Staubkerne und so fällt mit jedem Regen eine beträchtliche Menge von Staub überall hernieder.

Aber auch die trockenen Staubmengen, die sich in großen Staubwolken aus den ariden Wüstengebieten herausbewegen, schreiten über das Meer und bilden an manchen Küsten undurchdringliche Staubnebel, die der Schiffahrt gefährlich werden können und das Tauwerk der Schiffe mit dicken Staubschichten überziehen.

Diese Staubüberwehungen sind die Ursache, daß sich am Meeresboden fern von der Küste überhaupt marine feinkörnige Trümmergesteine bilden können, sie bedingen auch, indem sie über organische oder vulkanische Lockermassen einen dünnen Schleier ausbreiten, die oft so rätselhafte Schichtung innerhalb mächtiger Kalke.

In vielen Fällen wird die Schichtenfuge auch durch die auf die einstige Sedimentoberfläche ausgestreuten Fossilien bedingt. Gerade hier können wir sehen, daß eine Änderung des abgelagerten Materials eingetreten ist.

Während die Unterkante eines Gesteinskörpers den Umriß des einstigen Bildungsraumes erkennen läßt und die wechselnden Schichtenfugen uns die ehemalige Oberfläche der Ablagerung während ihrer Bildung erhalten hat, zeigt uns die Oberkante dann die Gestalt der Ablagerung bei Abschluß des gesteinsbildenden Vorgangs. Da sie zugleich die Unterkante der nächstjüngeren Ablagerung bildet, knüpfen sich an deren Studium viele geologisch bedeutungsvolle Schlußfolgerungen an.

Wichtig für die Beurteilung der Bildungsvorgänge eines Gesteins ist endlich die Grenzfläche, die es von dem Nebengestein trennt und den Umriß seines Bildungsraumes darstellt. Bei den aufgelagerten Gesteinen müssen wir hierbei zunächst die seitlichen Grenzen betrachten, wo eine Ablagerung in eine andere gleichzeitig entstehende Bildung (Fazies) übergeht. Der theoretisch wahrscheinliche Fall, daß solche seitliche Faziesgrenzen durch allmähliche Übergänge vermittelt werden, ist verhältnismäßig nur selten zu beobachten. Vielmehr grenzen zwei gleichzeitig gebildete Trümmergesteine, Niederschläge oder Magmagesteine gewöhnlich mit scharfer Trennungsfuge aneinander, indem sich das eine Gestein immer mehr verdünnt (auskeilt) und endlich spitz oder in kleine Knollen zerlegt ganz aufhört. Die betreffende Schicht verwandelt sich hierbei meist in eine im Streichen fortlaufende Schichtenfuge, welche als feinster Besteg die liegende von der hangenden Felsplatte trennt.

Gerade an den Grenzen des Bildungsraumes eines Gesteins findet ein unaufhörliches Wandern statt, und hierbei wird die Faziesgrenze bald dem Mittelpunkt des einen, bald dem des anderen Bildungsraumes genähert. Infolgedessen bilden sich in raschem wiederholten Wechsel

dünne oder sich verdünnende Schichten der benachbarten Gesteine übereinander und es entsteht im einzelnen Aufschluß das Bild einer Wechsellagerung zweier Gesteine, die jenseits dieses Grenzgebietes in ununterbrochener Folge einheitlich übereinandergelagert wurden.

Die Gesteinsfugen, welche als nachträglich entstandene Klüfte die einheitliche Felsmasse zerlegen, haben für die Beurteilung ihrer Entstehungsweise nur eine untergeordnete Bedeutung. Wenn auch die Quaderung der turonen Sandsteine in Sachsen und Böhmen ganze Landschaftsformen bestimmt, so sind doch nur die horizontalen Schichtenfugen von lithogenetischer Bedeutung, während die vertikal sie durchschneidenden Fugen ihnen gegenüber zurücktreten müssen.

Und doch können sie für den sammelnden Paläontologen, wenn auch meist in unerfreulicher Weise wichtig werden, da sie viele Gesteine so zerklüften, daß auch die darin enthaltenen fossilen Einschlüsse zerbrochen und mächtige Felsmassen trotz eines ursprünglich darin vorhandenen Fossilgehaltes unergiebig werden. Wir bezeichnen als Schieferung eine bis zur feinsten Spaltbarkeit gehende Zerlegung feinkörniger Trümmergesteine in parallele Platten, die als Ausweicheerscheinung in gepreßten und gefalteten Schichtenfolgen auftritt. Die hierbei entstehenden Ablösungsflächen stehen unter sich parallel, senkrecht zu dem faltenden Gebirgsdruck und zerlegen hierbei die mit gefalteten Schichtenfugen in lauter kleine Teilstücke, so daß jeder Hammerschlag zwar eine dieser Schieferungsfugen freilegt, aber nicht die mit Fossilien bedeckten Schichtenfugen. Nur da, wo zufällig beide Ebenen zusammenfallen oder sich unter ganz spitzem Winkel schneiden, bleiben die Fossilien unzerschnitten und so kann man hier die Reste der Tiere finden, die innerhalb der übrigen Schiefermassen nicht zu gewinnen sind.

Neuerdings hat man auf eine in wohlgeschichteten Tongesteinen auftretende innere Faltung aufmerksam gemacht, die als „untermeerische Gleitung" bezeichnet und gedeutet worden ist. Soweit meine im unteren Muschelkalk, oberen Jura und Tertiär von Deutschland darüber angestellten Untersuchungen mir ein Urteil über andere ähnliche Bildungen erlauben, halte ich aber die gegebene Erklärung als Abrutschung noch nicht verhärteter Schichten nicht für richtig. Denn man beobachtet im Liegenden wie im Hangenden völlig horizontale Grenzflächen und die zwischengelagerte gefaltete Masse zeigt oft gerade an ihrer Oberkante so viele Zerreißungen, daß man annehmen muß, das Hangende habe schon existiert, ehe die interne Faltung einsetzt. Ich habe mich besonders an der „krummen Lage" innerhalb der Solnhofener Plattenkalke überzeugt, daß die Erscheinung auf innere Molekularbewegungen zurückzuführen ist, bei denen das Volumen vorhandener Schichten so verändert wurde, daß sie sich zwischen Hangendem und Liegendem bewegen mußten. Bei der großen Ähnlichkeit solcher

gefalteter Letten mit den gestauchten und gequälten Schichten der Edelsalzregion deutscher Salzlagerstätten glaube ich, daß jene jetzt entsalzten Schichten einstmals reich an hygroskopischen Salzen waren, die zu diagenetischen Bewegungen innerhalb der Schichtenfolge führten.

André, Karl, Über stetige und unterbrochene Meeressedimentation, ihre Ursachen, sowie über deren Bedeutung für die Stratigraphie. N. Jahrb. f. Min., Beil. B, XXV, S. 366—421. 1901. — André, K., Wesen, Ursachen und Arten der Schichtung. Geol. Rundschau, 1915, S. 351. — Barus, Carl, Subsidence of Fine Solid Particles in Liquids. Am. Journ. of Science, 3rd Ser. B. XXXVII, S. 122—129. 1889. — Bodländer, G., Versucne über Suspension. N. Jahrb. f. Min. B. II, S. 147—168. 1893. — Brewer, W. H., On the Subsidence of Particles in Liquids. Mem. of the Nat Ac. of Sc. B, II, S. 163—175. 1883. — Brewer, W. H., On the Suspension and Sedimentation of Clays. Am. Journ. of Sc. 3rd Ser. B. XXIX, S. 1—5. 1885. — Cayeux, L., Contributions à l'étude micrographique des terrains sédimentaires. Mem. Soc. géol. du Nord. B. IV, T. 2, S. 163—184. 1897. — Durham, W., Suspension of clay in Water. Proc. of the Roy. Phys. Soc. of Edinb. B. IV, S. 46—50. 1878. — Ehrenberg, P., Hahn, E., Nolte, O., Die Schichtenbildung, zumal von Boden- und Tontrübungen, ihre Erklärung und ihre Heranziehung zur Landwirtschaftlichen Bodenuntersuchung. Kolloid-Zeitsch. H. 1, Bd. XXI. Dresden u. Leipzig 1917. — Hahn, F., Untermeerische Gleitung bei Trenton Falls (Nordamerika) und ihr Verhältnis zu ähnlichen Störungsbildern. N. Jb. f. M. G. u. P. Beil. B, XXXVI. Stuttgart 1912. — Hellmann, G., Über die Herkunft der Staubfälle im Dunkelmeer. Sitzungsb. d. Pr. Akad. d. Wissensch. 1913. XIV. — Naumann, E., Schichtung. Handwörterb. d. Naturwissensch. 1913, S. 900. — Philippi, E., Über das Problem der Schichtung und über Schichtbildung am Boden der heutigen Meere. Zeitschr. der deutsch. geol. Gesellsch, Bd. LXI. S. 346—377. 1908. — Semper, M., Schichtung und Bankung. Geol. Rundsch. Band VII, H. 1—2. Leipzig 1916. S. 53. — Thoulet, J., Consid. générales relatives à l'influence de la deflation sur la constitution lithologique du sol océanique. Ann. Inst. Océanographique. Monaco T. III, F. 2. — Udden, J. A., Erosion, Transportation und Sedimentation. Performed by the Atmosphere. Journ. of Geol. Bd. II, S. 318—331. 1894. Walther, Die Adamsbrücke und die Korallengriffe der Palkstrasse. Peterm. Mitth. Erg.-Heft Nr. 102. 1891. — Walther, Die Denudation in der Wüste. Leipzig 1891. S. 178. — Walther, J., Das Gesetz der Wüstenbildung. 2. Aufl. Leipzig 1912. S. 269. — Walther, J., Lithogenesis der Gegenwart. Jena 1894. S. 620f.

4. Die Mächtigkeit der Gesteine

Während der stereometrische Umriß eines einheitlich beschaffenen Gesteinskörpers die Gestalt seines Bildungsraumes und damit auch meistens die Ausdehnung des Lebensraumes der darin auftretenden Fossilien kennzeichnet, gibt uns seine Mächtigkeit, d. h. der senkrechte Abstand zwischen Unterkante und Oberkante, wichtige Hinweise auf die Zeitdauer seiner Bildung und die Lebensdauer seiner fossilen Einschlüsse.

Nicht jede Mächtigkeit hängt von der Zeitdauer ab. Die meisten eingelagerten Magmagesteine entstehen unter Umständen, die aus ihrer Mächtigkeit keinen Schluß auf die Dauer der Bildungsumstände ziehen lassen. Ein Granitstock von 1000 m Mächtigkeit wurde vielleicht in derselben Zeit ausgefüllt, in der ein benachbarter Granitgang von nur 1 m

Breite entstand; ein abgespaltenes magmatisches Erzlager entstand vielleicht ebenso rasch wie eine fingerbreite Quarzapophyse und die Breite eines basalterfüllten Kanals ist nur von der Spannung der unterirdischen Gase und der Festigkeit der durchschossenen Gesteine abhängig. Auch die aufgelagerten Magmagesteine sind zeitlose Bildungen. Der Colle Umberto entstand am Vesuv als 200 m hohe Quellkuppe in wenigen Monaten und macht uns den Bericht wohl verständlich, daß der Jorullo in einem halben Jahre 1759 m hoch aufgeschüttet wurde; die Entstehung des 140 m hohen Monte Nuovo bei Pozzuoli erfolgte 1538 in einer einzigen Nacht und der 3750 m hohe Fusijama entstand im Jahre 300 durch eine einzige Eruption.

Die spätere Ausscheidung von Konkretionen kann die ursprüngliche Mächtigkeit einer Gesteinsmasse ebenso erhöhen wie das Eindringen von Lagergängen in eine aufgeblätterte Schichtenreihe — aber solche Ausnahmefälle sind geologisch leicht nachzuweisen.

Wir können also auch die Mächtigkeit devonischer Diabase oder permischer Porphyrvulkane nicht mit derjenigen von marinen Schichten vergleichen.

Auch unsere Zechsteinsalzstöcke (die man merkwürdigerweise „Horste“ genannt hat) sind nachträglich verlagerte Massen ebenso wie die durch Schuppenstruktur überhöhten Kalkberge der Westalpen.

Auch die Mächtigkeit eines mit erratischen Geschieben gespickten Blocklehms kann nicht als Ausdruck eines kürzeren oder längeren Zeitraums betrachtet werden. Denn die Masse des in der Grundmoräne verfrachteten Gesteins war abhängig von der Mächtigkeit der Verwitterungsdecken, über welche das Eis hinweg glitt.

An den javanischen Vulkanen bewirken die tropischen Regengüsse bisweilen, daß ein bis zum Rande mit Wasser gefüllter Krater birst und die unheimliche Flut eines Banjir seinen gewaltigen Steinbrei über die Vulkanabhänge und die Niederungen ausbreitete, in welchem haushohe Blöcke weithin verschleppt werden. Auch die Mächtigkeit solcher an Geschiebelehm erinnernder vulkanischer Konglomerate ist unabhängig von der Zeit.

Die Murgänge in unseren Gebirgen geben nur ein schwaches Abbild der javanischen Banjire. Dafür haben wir im diluvialen Bergsturz von Flims ein Beispiel, wie eine 100 m mächtige Schuttmasse in kürzester Frist vom Segnespaß bis zum Rheintal 6 km weit vordrang.

Der Meeresspiegel bildet heute, ebenso wie in der geologischen Vergangenheit eine die ganze Erde umfassende Grenzebene, die von großer Wichtigkeit ist für die Beurteilung der Mächtigkeit von Trümmergesteinen und Niederschlägen. Alle Bildungsräume neuer Ablagerungen, die sich über dem Meeresspiegel befinden, können mit Geröllen, Sanden und Tongesteinen erfüllt werden, ohne daß ihrer wachsenden

Mächtigkeit eine Grenze gesetzt ist. Die Wannen von Arizona und Texas, wie von Turkestan und Innerasien können sich mit Schuttmassen füllen, solange sie noch von höheren verwitternden Bergen umrahmt sind. Wo Granitberge physikalisch zerbröckeln oder sandführende Flüsse verdampfen, da bilden sich Sandsteinschichten von unbegrenzter Mächtigkeit, und in abflußlosen Wüstenseen entstehen Salzlager ebenso leicht in einer trockenen Depression unter dem Meeresspiegel, wie 4000 m hoch auf den Hochebenen von Tibet.

Die wichtigste Bedingung für die Mächtigkeit der in solchen Becken angehäuften Trümmergesteine oder Niederschläge bieten uns also die Wasserscheiden, die ein Abtragungsgebiet umgrenzen, und das herrschende Klima. Ist eine Gegend so niederschlagsarm, daß die Wasserscheiden nirgends die Küste erreichen und geschlossene Abtragungsgebiete umschließen, dann werden alle Verwitterungsmassen (Lösungen, Schlamm, Sand, Gerölle) nach der tiefsten Senke verfrachtet und dort so lange angehäuft, als noch höhere Berge vorhanden sind. Sobald sie eingeebnet sind, endet auch die Bildung neuer Ablagerungen.

Grundverschieden sind die geologischen Umstände, unter denen unter dem Spiegel des Weltmeeres marine Gesteine entstehen. Wir haben noch im einzelnen zu verfolgen, welchen großen Einfluß die wechselnde Wassertiefe in tieferen Wasserbecken als Ausdruck der Licht- und Wärmeverteilung spielt. Denn wenn ein 1000 m tiefes Meeresbecken durch einströmende Flüsse allmählich ausgefüllt wird, so lagert sich unter gleichbleibenden äußeren Umständen doch eine vom Liegenden zum Hangenden beständig wechselnde Schichtenfolge ab.

In der lichtlosen, ruhigen Tiefsee entstehen andere Ablagerungen und leben andere Tiere als in der dämmerigen, von spärlichem Pflanzenwuchs besiedelten Mittelschicht oder der lichten, an Pflanzen und Pflanzenfressern reichen, lebhaft bewegten Flachsee. Es ist undenkbar, daß eine mächtige Ablagerung in einem unveränderlichen Becken unter dem Meeresspiegel entstehen kann, deren Gesteine und Fossilgehalt sich vom Liegenden bis zum Hangenden gleich bleiben.

Selbst wenn, wie im Oberkarbon, marine Zwischenschichten zwischen nichtmarine Trümmergesteine eingeschaltet sind, ist die bloße Zufüllung eines fertigen Bildungsraumes ausgeschlossen. Am meisten aber gilt diese Erwägung für die Bildung organischer Trümmergesteine. Denn damit ein 80 m mächtiges Braunkohlenflöz, ein 10 m mächtiges Steinkohlenflöz oder 500 m ungeschichteter Massenkalk entsteht, müssen die Bildungsbedingungen an der Oberkante des wachsenden Gesteins während der ganzen Dauer seiner Bildung dieselben bleiben.

Solche Erwägungen haben zuerst J. J. Dana zu der Lehre von den Geosynklinalen geführt, die dann Darwin auf die Bildungen der Korallenkalke anwandte und E. Haug in ihrer erdgeschichtlichen Bedeutung

zu verfolgen suchte. Ich habe den Namen Sammelmulde dafür vorgeschlagen, um ihre wesentlichste Wirkung zu kennzeichnen.

Denn jene langsamen Senkungsvorgänge sind die wichtigste Folge der Abkühlung und Schrumpfung des Erdballes. Verglichen mit den schmalen Streifen, in denen die Erdrinde gefaltet und gehoben wird, sind die Flächen, auf denen bald in der einen, bald in der folgenden Periode regionale, bruchlose Senkungsfelder entstehen, so gewaltig, daß wir gerade in ihnen die Folgen der während der ganzen Erdgeschichte andauernden Kontraktion des Erdballes erblicken dürfen.

Wenn ein kleines oder großes Stück Erdrinde langsam nach abwärts zu weichen beginnt, so strömen bald alle dauernden oder periodischen Flüsse und Wasserfluten nach dieser Stelle. Es ist für die geologische Wirkung gleichgültig, ob die Caspisenke inmitten des Festlandes entsteht, Wolga, Terek und Atrek in ihr verdampfen und ihre gesamte Fracht an Sand, Schlamm und Salzen im riesigen Endsee anhäufen, — oder ob der Ostseeboden sinkt und sein Hohlraum zunächst mit dem Süßwasser nordeuropäischer Flüsse erfüllt, dann vom Salzwasser des Atlantik erobert wird.

In jeder solchen festländischen oder marinen Sammelmulde können ebenso anorganische Trümmergesteine wie organische Kohlen und Kalke wachsen, kann das Seewasser zu Gips und Salz eingedampft werden, können bunte Letten entstehen oder vulkanische Tuffe sich anhäufen. Wenn Gesteinscharakter und Fossilgehalt vom Liegenden zum Hangenden gleichbleiben, dann ist die Mächtigkeit des so entstehenden Gesteins nicht nur der Ausdruck für gleichbleibende gesteinsbildende Umstände, sondern auch für eine andauernde Senkung des Bildungsraumes.

Solange Zufuhr des Sediments und Senkung sich die Wage halten, entsteht unter einer, vielleicht nur wenige Meter tiefen, Wasserdecke eine beständig wachsende Ablagerung. Nimmt die Senkung zu, dann vertieft sich das Wasser; wird sie geringer oder die Masse des herbeigeführten Sediments größer, dann füllt sich das Becken, das Wasser wird verdrängt und es entsteht eine innere Diskordanz, auf deren unebener Oberfläche bei erneuter Senkung die hangenden Gesteine ausgebreitet werden.

Da der Bildungsraum jedes Gesteins seitlich begrenzt ist und jede Fazies im Streichen durch andere, gleichzeitig gebildete Gesteine ersetzt wird, so spielt die Mächtigkeit, wie wir später ausführen werden, auch bei der Beurteilung der Fazies und des Fazieswechsels eine große Rolle. Hier aber möchten wir darauf hinweisen, daß jedes Gestein durch die Gestalt seines Bildungsraumes bestimmt wird und daß im allgemeinen in einem während seiner Bildung nicht gesenkten Becken die hangenden Schichten über die liegenden randlich übergreifen werden, während die andauernde Senkung in vielen Fällen mit einer schalenartigen Ausfüllung des Bildungsraumes verknüpft sein dürfte.

Daß die Mächtigkeit im Bildungsraum der meisten Gesteine vom Rand nach der Mitte zunimmt, ist selbstverständlich. Es werden also in derselben Zeit dort weniger Schichten gebildet, als hier. Wenn wir uns also ein Bild machen wollen über die Länge der geologischen Zeiträume, gemessen an der Mächtigkeit der jeweils gebildeten Gesteine, dann werden wir die größte beobachtete Mächtigkeit in den Vordergrund stellen müssen. Die Mächtigkeit des Buntsandsteins in Hessen von 1182 m ist also wichtiger, als diejenige von nur 400 m in Thüringen oder 30 m in Schwaben.

Trotz der großen Bedeutung, welche die Mächtigkeit der einzelnen Gesteine als Rahmen biologischer und erdgeschichtlicher Vorgänge besitzt, wurde früher die genaue Mächtigkeit der einzelnen Schichtenglieder viel zu wenig beachtet und es ist sehr zu begrüßen, daß neuere Karten die wirkliche Mächtigkeit im richtigen Größenverhältnisse am Blattrande angeben und daß jetzt auch Bohrtabellen veröffentlicht werden, aus denen man die lokale Mächtigkeit eines Schichtengliedes genau ersehen kann. Eine geologische Karte, auf der nicht jedes einzelne ausgeschiedene Glied nach seiner wirklichen gemessenen Mächtigkeit angegeben wird, trägt den Stempel der Ungenauigkeit an sich, denn es ist ausgeschlossen, daß der kartierende Geologe die Grenze eines Gesteins auf dem Kartenblatt bis auf 10 m genau einträgt, wenn er nicht bis auf 5 m genau weiß, wie mächtig die betreffende Gesteinsschicht ist.

Unter dem Einfluß einer rein stratigraphischen Betrachtungsweise und allzu großer Betonung der paläontologischen Gliederung hat man sich besonders in Deutschland daran gewöhnt, nur die Mächtigkeit kleiner Lokalprofile bei übersichtlichen Darstellungen anzugeben und vergleichende Gliederungstabellen wegen der Schwierigkeiten, die mit einer Darstellung der Mächtigkeit verknüpft sind, ohne Mächtigkeitsangaben zusammenzustellen.

Wenn man so den 30 m mächtigen Lias von Schwaben neben den 120 m mächtigen Lias von Hannover stellt, kommt zwar die Ähnlichkeit der Faunenfolge, aber nicht der Gegensatz erdgeschichtlicher Umstände zum Ausdruck. Ich habe daher seit einigen Jahren alle nach ihrer Mächtigkeit genau aufgenommenen Schichtenfolgen in Deutschland unter sorgfältigster Berücksichtigung ihrer Mächtigkeit darzustellen versucht und werde solche Gliederungstabellen demnächst veröffentlichen.

Für die Beurteilung der Dauer erdgeschichtlicher Vorgänge ist, wie wir sahen, die größte Mächtigkeit paläontologisch einheitlicher Schichtenfolgen entscheidend. Wenn wir nach diesem Grundsatz die genauer untersuchten Maximalmächtigkeiten der Formationen in Deutschland und, wo genaue Angaben fehlen, die Mittelzahl der geschätzten Mächtigkeiten einsetzen, dann ergibt sich folgendes Bild:

12. Gegenwart	25 m		gemessen	in	Friesland
11. Diluvium	126 „		„	bei	Hamburg
10. Tertiär	444 „	Pliocän	„	„	Düren
	243 „	Miocän	„	„	Altona
	1130 „	Oligocän	„	im	Ober-Elsaß
	120 „	Eocän	„	„	Geiseltal
	200 „	Paleocän	„	in	Holstein
		IV. Neuzeit			
9. Kreide	430 „	Senon	„	„	Dietmarschen
	600 „	Emscher	„	„	Westfalen
	245 „	Turon	„	im	Teutoburg. Wald
	340 „	Cenoman	„	„	„
	140 „	Gault	„	bei	Goslar
	436 „	Neokom	„	„	Bentheim
	450 „	Wälderton	„	„	„
8. Jura	520 „	Malm	„	in	Schwaben
	220 „	Dogger	„	im	Teutoburg. Wald
	286 „	Lias	„	„	Eggegebirge
7. Trias	900 „	alpiner Oberkeuper		„	Wettersteingebirge
	420 „	Keuper	gemessen	bei	Lauterbach
	264 „	Muschelkalk	„	in	Thüringen
	1183 „	Buntsandstein	„	bei	Cassel
		III. Mittelzeit			
6. Perm	470 „	Zechstein	„	im	Leinetal
	2450 „	Rotliegendes	„	in	Pfalz
5. Karbon	6640 „	ob. (Steinkohle)	„	„	Oberschlesien
	600 „	unt. (Kulm)	„	im	Oberharz
4. Devon	1550 „	ob. Devon	„	bei	Elberfeld
	500 „	mittl. Devon	„	„	Aachen
	2250 „	unt. Devon	„	„	„
3. Silur	150 „	ob. Silur	„	in	Mittelböhmen
	1700 „	unt. Silur (Ordovicium)		„	„
		II. Altzeit			
2. Kambrium	130 „	ob. Kambrium (Olenus)		„	Böhmen
	150 „	mittl. K. (Paradoxides)		„	„
	100 „	unt. K. (Olenellus)		„	„
1. Algonkium	1000 „	ob. Algonkium		„	Schottland
	2000 „	mittl. Algonkium		„	„
	2000 „	unt. Algonkium		„	„
	30 412 m				

Liegende kristalline Schiefer.

I. Urzeit

5. Die zeitliche Ordnung der Gesteine

Es gehört zu den wichtigsten Aufgaben, die im Mosaik der Erdrinde nebeneinander lagernden Gesteine auszuscheiden, sie in eine sich überlagernde Schichtenfolge zu ordnen und endlich als eine Zeitfolge geologischer und biologischer Ereignisse zu betrachten.

Aber da viele Gesteine durch nachträgliche Veränderungen verwandelt und verlagert worden sind, müssen wir zunächst alle seit der Ablagerung der Felsmassen erfolgten Umwandlungen rückgängig machen, um den ursprünglichen Verband und die primären Eigenschaften einer gegebenen Schichtenfolge im Geist wiederherzustellen

Nachträglich sind entstanden: die durchgreifend eingelagerten Gänge, Lagergänge, Stöcke und Intrusionen; ebenso die durch Diagenese in den Gesteinen erfolgten Veränderungen, wie Konkretionen, verhärtete oder ausgelaugte Zonen. Stauchungen und Massenverlagerung durch Salzdruck müssen ebenso ausgeschaltet werden, wie tektonische Zerklüftungen, Bruchzonen, Verwerfungen, Faltungen und Überschiebungen. Welche Schwierigkeiten uns ein wurzellos überschobenes Gestein beim Aufsuchen seiner Heimat und seines ursprünglichen Faziesverbandes macht, ist jedem Alpengeologen bekannt.

Die tiefgreifendsten Veränderungen entstehen aber in vergneisten Kernen großer Faltensysteme. Gesteine von ganz anderer primärer Zusammensetzung sind hier zu Silikaten geworden, ihre Korngröße, Bildungsraum und Aufbau kaum noch zu erkennen, ihre einstige Mächtigkeit verändert, ihr Fossilgehalt zerstört.

Bei den mühsamen, aber so erfolgreichen Arbeiten kanadischer und skandinavischer Forscher im kristallinen Grundgebirge hat sich ergeben, daß aber die großen Diskordanzen bei der Vergneisung erhalten bleiben Daneben erspäht man, von plutonischen Einlagerungen abgesehen, noch bisweilen den Aufbau uralter Vulkane, die Geröllstruktur von Konglomeraten oder die gekritzten Geschiebe alter Moräne sowie die Kreuzschichtung von urzeitlichen Dünen, und kann in eingeschalteten Graphitschichten organische Kohlen, in Marmorstöcken organische Kalke wieder erkennen.

Wenn wir alle sekundären Änderungen der Schichtenfolge erkannt und berücksichtigt haben, können wir ihren Aufbau nach lithologischen Gesichtspunkten analysieren.

Wir unterscheiden das natürliche Profil, das uns der einzelne Aufschluß bietet (oder das künstlich erzeugte Bohr- und Schachtprofil), von dem ergänzten Profil, in dem wir mehrere fortlaufende Aufschlüsse vereinen, sodann das zusammengesetzte, bei dem wir die senkrecht zum Streichen gelegte Beobachtungslinie verlassen, und endlich das ideale Profil, in welchem neben den Einzelbeobachtungen die hypothe-

tische Meinung des Autors zum Ausdruck kommt. Als Normalprofil bezeichnet man eine Schichtenfolge, in welcher zuerst eine bestimmte Gliederung erkannt worden ist und auf die man dann andere Profile bezieht.

Nur das natürliche Profil der fortlaufenden Schichtenfolge eignet sich für eine lithogenetische Zergliederung.

Zuerst ist es notwendig, sich über die natürlichen Lücken in der Schichtenfolge klar zu werden.

Da wir keine Erstarrungskruste der Erde, keine Basis der Formationsreihe kennen, liegt jede Schichtenfolge auf einem unbekannten Liegenden, das sich in der ewigen Teufe verliert. Die untere Lücke der Beobachtung in jedem Profil, selbst in den tiefsten Schichten der kristallinischen Schiefer zeigt am besten, wie unberechtigt es ist, lithogenetische oder erdgeschichtliche Betrachtungen mit einer „ersten Erstarrungskruste" von Silikatgesteinen zu beginnen und alle späteren Gesteinsbildungen von jenen abzuleiten. Denn Paragneise, also umgewandelte Trümmergesteine, bilden die Unterlage aller anderen Gesteine und diese Paragneise sind keineswegs gleichalterig, sondern entstanden jedesmal, wenn die mächtigen Schichten einer Sammelmulde gepreßt, metamorphosiert und als Faltengebirge wieder emporgedrängt wurden.

Nur auf stratigraphischem Wege, d. h. durch Untersuchung der Gesteinsfolge und der in den Gesteinen eingeschlossenen Fossilien, oder durch vergleichende Betrachtung der Lagerungsfolge können wir feststellen, an welchem Punkt der Formationsreihe eine Schichtenfolge beginnt, wo sie endet und wo inmitten der Gesteinsfolge noch andere Lücken vorhanden sind.

Nachdem die Lücken der Schichtenfolge erkannt worden sind, können wir mit der Untersuchung der darin auftretenden Gesteine beginnen. Das Gewebe der Gesteine gibt uns Hinweise auf sein Ursprungsmaterial, das Gefüge beleuchtet die während der Bildungszeit herrschenden Umstände und der Umriß einzelner Felsmassen bestimmt deren Bildungsräume.

In der älteren Literatur begegnet man häufig dem methodischen Fehler, daß die Bildung einer größeren gleichartigen Gesteinsmasse aus den Eigenschaften einer anders gearteten, geringmächtigen Einlagerung erschlossen wird, z. B. die Entstehungsweise des fossilleeren Wellenkalkes nach den dünnen muschelreichen Zwischenschichten, die Entstehung des leblosen Hauptbuntsandsteins nach lettigen dünnen Einschaltungen mit Estherien.

Unser Grundsatz muß es dagegen sein: jede durch verschiedene lithologische Eigenschaften und verschiedenen Fossilgehalt unterscheidbare Gesteinsart, selbst wenn sie in wiederholter Wechsellagerung mit anderen Gesteinen verbunden ist, für sich zu betrachten.

In der geologischen Literatur spielt oft der Zyklus der Gesteinsbildung eine große Rolle. Hierbei werden in der Regel die am Ufer der Ostsee zu beobachtenden Verhältnisse: Gerölle am Strand, dann eine sandige Schorre, endlich ein schlammiger Meeresboden mit kalkreichen Muschelbänken als eine gesetzmäßige Faziesfolge betrachtet und man erwartet bei jeder übergreifenden Lagerung zu unterst ein Basalkonglomerat, dann Sandsteine, darüber Tone und Kalke zu finden. Aber die Ostsee ist lithogenetisch eine Sonderheit, und was wir an ihren Ufern beobachten, hängt weniger mit den Erscheinungen eines Küstengebietes, als mit dem Geschiebelehm zusammen, der ihren Boden bedeckt und durch die Meereswellen ausgewaschen wird. Unsere deutschen Küsten geben uns Erscheinungen wieder, die man im Hangenden eines fossilen Geschiebelehms, also etwa über den Dwyka-, Talchir- oder Bachus-Marshschichten in der Umrahmung des indischen Ozeans erwarten kann. Aber gerade hier fehlt dieser Zyklus und der Blocklehm wechsellagert vielfach mit marinen Kalken.

Auch unsere sandigen Küstendünen gehören zu den Ausnahmen. Das tropische Ufersediment ist meist ein weicher Schlamm, der sich im Schutz der Mangrove anhäuft. In der ariden Zone aber lagern geschichtete Kalksande, Kalkschlamme und ungeschichtete Kalkriffe unvermittelt neben dem Salzton oder den Geröllen der Wüste. Wenn hier eine Transgression eintritt, so legt sich geschichteter oder ungeschichteter Kalk direkt auf die Dreikanter, die der Wind am dürren Ufer erzeugte.

Alle Schlüsse, die man an das Auftreten eines sogenannten „Grundkonglomerates" knüpft, und auf der Annahme eines „normalen" Sedimentzyklus aufbaut, beruhen auf einem rein hypothetischen Schema.

Die Unterkante eines aufgelagerten Gesteins hat uns meist die Form des Bodens erhalten, auf dem es gebildet wurde. Die im Gestein auftretenden Schichtenfugen geben uns Hinweise auf die Oberflächenformen seines Bildungsraumes. Die Form der Oberkante ist wiederum mehr von den Umständen abhängig, unter denen die Ablagerung des hangenden Gesteins begann.

Der senkrechte Abstand zwischen Ober- und Unterkante, also die wahre Mächtigkeit ist der Ausdruck für die Dauer gleicher Bildungsumstände. Die Größe und Gestalt des Bildungsraumes läßt sich im einzelnen Aufschluß in der Regel nicht erkennen und kann nur durch den Vergleich oft weit entlegener Profile festgestellt werden. Das Fehlen einer Schicht in einer benachbarten Schichtenfolge läßt die Grenzen ihres Bildungsraumes annähernd bestimmen.

Das wichtigste Gesetz der Lagerungslehre lautet, daß das Hangende jünger ist als das Liegende. Die Schichtenfugen, welche die einzelnen Stufen trennen, sind ebenfalls jünger als die liegende und älter als die hangende Gesteinslage.

Diese Sätze gelten natürlich nur für bodenständige (autochthone) Gesteine, die noch heute am Ort ihrer Bildung lagern. Sobald kleinere Massen durch Abrutschung, glaziale Stauchung oder Salzauftrieb verlagert und bodenfremd (allochthon) geworden oder ganze Schichtenfolgen durch tektonische Senkung, seitliche Verschiebung, Faltung, Überkippung, Hebung oder Überschiebung gestört sind, dann muß, wie noch gezeigt werden soll, zunächst der ursprüngliche Gesteinsverband wieder hergestellt werden.

Die in ungeschichtetem Löß eingeordneten kalkigen Schwülen (Lößkindel) ebenso wie die Feuersteinknollen in der weißen Schreibkreide oder die kalkigen Knotenreihen in devonischen Tonschiefern (Kramenzelkalke) sind etwas jünger wie das sie umgebende Gestein. In diagonal geschichteten Dünen von Quarz- oder Kalksand (Buntsandstein, Schaumkalk, Krailsheimer Kalk) sind die nacheinander gebildeten Sandmäntel, deren Wurzel innerhalb der schräggeschichteten Bank erhalten blieb, ebenso wie die eingeschalteten Tongallen, nacheinandergebildet und mithin älter als die sie nach oben abgrenzende horizontale Schichtenfuge.

Eine besondere Stellung nehmen die ungeschichteten Massen des Geschiebemergels (und der Tillite) ein. Man beurteilt ihre Entstehungsweise meist nach den Vorgängen an der oszillierenden Zunge eines Alpengletschers, ohne zu bedenken, daß der Eintritt einer interglazialen oder postglazialen Abschmelzungsperiode durch eine regionale Änderung des Klimas bedingt war, das nicht die Gletscherstirn langsam verkürzte, sondern die gesamte Eismasse von oben abschmolz. Daher muß selbst bei großer Mächtigkeit doch die ganze Masse eines Blocklehms als gleichzeitig abgesetzt betrachtet werden. Auch der Schutt von Bergstürzen ist in seiner ganzen Masse gleichzeitig abgelagert und selbst manche alte Buntwacke und Grauwackenmasse mag auf ähnlichem Wege aufgehäuft worden sein.

Das Altersverhältnis der kiesigen oder sandigtonigen Ablagerungen eines sich allmählich oder rhythmisch einschneidenden Flusses ist oft untersucht. Im allgemeinen liegen hier die älteren Massen topographisch höher als die jüngeren Terrassen.

Die organischen Trümmergesteine haben ihre eigenartige Bildungsgeschichte. Geschichtete Kalke oder organische Kieselgesteine folgen dem allgemeinen Grundsatz der Lagerungslehre, aber sobald kalkabscheidende Organismen am Meeresgrund riffartig emporwachsen, ändern sich auch die Altersverhältnisse innerhalb der dabei entstehenden Massenkalke. Wir müssen uns bei jedem Kalkriff darüber klar sein, daß das randliche Gebiet oft mit steiler Böschung über den umgebenden Meeresgrund aufstieg und aus Kalkzungen aufgebaut wurde, deren Masse nicht gleichzeitig mit dem Wachsen des eigentlichen Riffkernes erfolgte. So wurden in der äußeren Riffzone auch Fossilnester eingebettet, die man nicht

schichtenförmig einordnen oder mit den im Innern des Riffs gefundenen Resten als gleichaltrig betrachten darf.

Besonders verwickelt werden diese Verhältnisse, wenn innerhalb einer großen geschichteten Kalkmasse bald hier, bald an einer anderen Stelle kleine Riffe (Stotzen) entstehen und dem Ganzen ein regelloses Gefüge geben. Die langen Kämpfe, welche um die „étage corallien“ in der Schweiz und Frankreich, ebenso wie in Schwaben um die genauere Gliederung des oberen Jura geführt wurden, beruhten auf den sich hierdurch ergebenden Schwierigkeiten der stratigraphischen Gliederung.

Ebenso waren manche langwährende Diskussionen über die Faunen der oberen alpinen Trias deshalb so schwierig und fast unlöslich, weil lokale Fossilnester innerhalb großer Kalkriffe nach dem einfachen Schema horizontal gegliederter Kalkbänke, und nicht als mantelartig übereinander gelegte Riffschalen gedeutet wurden.

Auch die Bildung der dünnplattigen Kalkschiefer von Solnhofen und Eichstädt erfolgte oftmals unterhalb der sie überragenden Riffkalke, und so lagerte sich eine später entstandene Schichtenreihe in tieferem Wasser ab, als die vorher gebildete kalkige Riffdüne.

Wenn man im Auge behält, daß in allen den zuletzt genannten Fällen nicht nur Gesteinsmaterial, sondern ebenso Fossilien abgelagert wurden, so ergibt sich die Schwierigkeit, ungeschichtete Massenkalke zu gliedern.

Während die Kalkriffe, mit ebener Unterlage beginnend, später mit immer steigenderer Böschung ihre Umgebung überragen, lagerten sich manche in engbegrenzten Becken gebildeten Braunkohlenlager so ab, daß das Becken allmählich eingeebnet und die darin nacheinander gebildeten Bänke dadurch immer mehr randlich verjüngt wurden. Auch hierbei kann es zu Lagerungsverhältnissen kommen, bei denen ungleichzeitige Bildungen nebeneinander liegen.

Die aufgelagerten Trümmergesteine sind so weitverbreitet, daß ihnen gegenüber die eingelagerten Trümmermassen ganz zurücktreten. Die seltenen Sandsteingänge, die bei Erdbeben von oben in geöffnete Spalten hineinrutschten, die Ausfüllung von Kalkspalten mit Lehm oder Terra rossa, von Höhlen und Dolinen mit deckenden Sedimenten enthalten manche Probleme, die bei der Prüfung ihres Fossilgehaltes berücksichtigt werden müssen.

Die aufgelagerten Niederschläge haben sich meist unter ähnlichen Umständen wie die Trümmergesteine gebildet. Deutliche Jahresringe lassen die Salzablagerungen oftmals trefflich sondern und nur die Bildung der Gips- und Anhydritmassen birgt noch manche unaufgeklärte Frage.

Die Ablagerung von Quellsintern an der Mündung von Thermen oder kalten Quellen hat manche Ähnlichkeit mit derjenigen der marinen

Kalkriffe, aber erfolgt meist in viel engeren Bildungsräumen, so daß sich nur selten stratigraphische Schwierigkeiten ergeben.

Die aufgelagerten Magmagesteine werden unter Umständen gebildet, die allgemein bekannt sind. Wie eine Quellkuppe aus älteren randlichen und jüngeren tieferen Massen besteht, wie ein Lavastrom und eine Decke auf abschüssigem Boden oder einer zertalten Geländefläche sehr vielgestaltige Massen bilden kann, das ist so oft geschildert worden, daß auch die daraus sich ergebenden chronologischen Verhältnisse benachbarter Felsmassen keine ausführliche Behandlung nötig machen.

Bei den eingelagerten Gesteinen war der Bildungsraum während ihrer Entstehung rings geschlossen. Lücken und Höhlen waren leer und warteten nur des zufüllenden Materials. Spalten durchsetzten das Grundgebirge, oder ein aufdringender Magmaherd erzeugte durch seine heißen Dämpfe den künftigen Hohlraum. Kanäle durchschossen die Schichtentafeln, Lagergänge drängten sich zwischen Schichtenfugen und gewaltige Magmakörper schmolzen sich einen rundlichen Raum, in dem sie als Tiefengestein erstarrten.

Unter diesen Umständen ist es verständlich, daß ein eingelagertes Gestein nicht nur jünger als sein Liegendes und sein seitliches Nebengestein ist, sondern auch jünger als sein Hangendes.

Aber auch innerhalb einer größeren eingelagerten Felsmasse lassen sich bemerkenswerte Altersunterschiede feststellen.

Die gangreiche Außenzone eines Granitstocks erkaltete zuerst, dann folgten die tiefer gelegenen Massen. Beim Erkalten lösten sie sich vom Hangenden oder vom Nebengestein ab und nach den hierbei entstehenden regellos abgegrenzten Lücken drang restliches Magma, das als Pegmatit oder Stockscheider auskristallisierte.

Die Frage nach dem Altersverhältnis der Pegmatite und Aplite oder der Schlierengänge zu dem sie umgebenden Hauptgestein ist noch keineswegs völlig entschieden; im allgemeinen aber kann der absolute Altersunterschied zwischen den sich folgenden Injektionen des Teilmagmas und des Ganggefolges nicht groß gewesen sein.

Die Altersfrage der Gangausfüllung durch Mineralien oder Erze ist so oft eingehend behandelt worden, daß wir hier nur die wichtigsten Sätze hervorheben können: An einem Gang ist im allgemeinen die dem Salband anliegende Zone älter als die mittlere Masse, sofern nicht durch wiederholtes Aufreißen der Gangspalten die Ausscheidungsfolge der Mineralkrusten gestört wurde. Ein Gang, der einen andern kreuzt oder Bruchstücke desselben enthält, ist jünger als dieser.

Zahlreiche chronologische Erwägungen knüpfen sich an die Entstehung tektonischer Störungen an, die als Folge der Abkühlung des Erdkerns zunächst zu horizontalen und endlich sogar zu vertikalen Verlagerungen der Gesteine führen.

Obwohl die Wärme des heißen Erdkerns durch die dünne Erdhaut beständig gegen den kalten Weltenraum abfließt, so erfolgt doch die daraus resultierende Zusammenziehung der Erdrinde wegen ihres verwickeltes Baues in vielfach unterbrochener und örtlich ganz verschiedener Weise. Die Einordnung dieser tektonischen Bewegungen in die Zeitfolge ist von großer Bedeutung für die Erdgeschichte.

Wir unterscheiden zunächst die regionalen Senkungen der Erdrinde, die sich (nicht im Sinne von E. Suess als Gräben oder Kesselbrüche mit gebrochenen oder flexurartig gebogenen Rändern, sondern) in weiten Geosynklinalen oder Sammelmulden vollziehen und bei denen das Liegende keinerlei „Störungen" des Gesteinsverbandes erkennen läßt. Diese Senkungen lassen sich nur aus der großen Mächtigkeit der in solchen Becken abgelagerten Gesteine erschließen und ableiten. Ihr Beginn ist mit Hilfe der liegenden Gesteine, ihre Stärke ebenso wie die Bilanz zwischen Senkung und Zufüllung aus der Einschaltung von lokalen Diskordanzen, ihr Ende aus dem Abschluß der Gesteinsbildung zu erkennen. Nur durch den Vergleich der in benachbarten oder entfernten Sammelmulden abgelagerten Schichtenfolgen kann das schematische Profil der Formationsreihe kombiniert werden.

Wenn die Erdrinde infolge des Seitenschubes sehr langsam seitlich eingespannt wird und die Stärke desselben ganz allmählich zunimmt, erfolgt ein Ausweichen nach oben und eine immer höher steigende Faltenzone erhebt sich über ihr Nachbargebiet. Da mit der Hebung eine Dehnung in den Sattelachsen und ein Zusammenpressen in den Mulden verbunden ist, werden jene gelockert, und dort setzen die abtragenden Kräfte zuerst und am stärksten ein.

Wenn diese Abtragung weitergeht und dabei immer tiefere Zonen erreicht werden, bleibt schließlich das Hangende nur in den Muldenkernen erhalten, während in den Sattelkämmen das dabei vergneiste Liegende zutage tritt. Der Beginn der Faltung läßt sich daher nur so lange feststellen, als hangende Gesteinsreste erhalten sind, und die Entstehungszeit mancher tiefabgetragenen Massive läßt sich später überhaupt nicht mehr chronologisch einordnen.

Kommt es aber während und nach beendeter Faltung zur Überlagerung neuer Ablagerungen, dann gilt der Satz: die Faltung ist jünger als die jüngste mitgefaltete Schicht und älter als die liegendste diskordant darüber gelagerte Decke. Manche deutschen Profile (Bohlen) lassen hierbei noch einen großen zeitlichen Spielraum, denn wenn hier das Unterkarbon mitgefaltet und das Oberperm ungefaltet darüber gebreitet liegt, dann bleibt für Faltung und Abtragung ein ungemein langer Zeitraum. Nur wenn wir an verschiedenen Aufschlüssen immer dieselbe Lagerung beobachten, darf man die Faltungszeit chronologisch schärfer bestimmen. Die Diskordanz des mitteldeutschen Mitteldevons auf Unter-

silur und andererseits des Oberrotliegenden auf Unterrotliegendem zeigt, wie lange Zeiträume hindurch die varistische Faltung erfolgte.

Wenn der Seitenschub, auf leicht verschiebbare Massen einwirkend, seine Kraft rasch steigert, dann erfolgt nicht Faltung, sondern Bruchbildung und an den plötzlich unter Erdbebenzittern entstandenen Kluftflächen verschieben sich die benachbarten Gesteinsmassen gegeneinander. Die einen steigen als gehobene Horste über das Gelände, andere werden als schmale Gräben oder breitere Senken hinabgedrückt, und während hier das Hangende erhalten bleibt und oft noch weiter zugedeckt wird, beginnt die Abtragung der Höhengebiete. Auch hier ist die Altersbestimmung des Beginns der Bruchbildung sehr schwierig Die Untersuchungen von Stille haben gezeigt, wie alt viele Brüche in Westdeutschland sind, die man früher für mitteltertiär halten konnte.

Bei den oberflächlich erkennbaren Bruchzonen oder Faltungslinien gilt im allgemeinen die parallele Streichrichtung als ein Beweis für gleichzeitige Entstehung; selbst die Gleichzeitigkeit von vulkanischen Eruptionen glaubt man aus der linearen Anordnung der Schlote erschließen zu können. Ein Blick auf die geschwungenen Faltenbögen der Alpen oder auf die sich so oft zertrümernden Bruchlinien oder Gangspalten sollte die Unrichtigkeit dieser Schlußfolgerung längst nachgewiesen haben.

Denn die Richtung der bei tangentialen Spannungen ausgelösten Falten oder Brüchen hängt viel mehr von der Bruchfestigkeit der Gesteine und der Gestalt der benachbarten Massive ab, als wie von der Richtung des Seitenschubes. Wie sich unter der Last des Schlittschuhläufers eine regellos zerteilte Bruchfläche bildet, von der dann, der Spannung folgend, weithin die Spalten aufklirren, so springt auch von der lokal deformierten Erdrinde aus ein System von Bruchlinien bis in weite Fernen, und deren Richtung wird mehr vom Felsbau der Erdrinde als wie von der Anfangsrichtung des Gebirgsdruckes bestimmt.

Wie man aus dem verwickelten Aufbau der Erdrinde leicht verstehen und sogar experimentell nachahmen kann, entstehen mitten zwischen den gebrochenen und unter seitlicher Pressung aneinander auf- und absteigenden Gesteinsmassen leicht lokale Dehnungen, die als Trümmerzonen (Polyklasen) mit Gesteinsschutt erfüllt, zu Breschen verkittet, oder als geradlinige Talabschnitte ausgeräumt werden können. Reißen hierbei eine oder mehrere glattwandige Spalten auf (Antiklasen), deren Salbänder auseinanderweichen, dann sickern entweder lithose Lösungen nach dem Gebiet und bilden Mineral- und Erzgänge, oder die momentan gebildete Spalte wird ebenso plötzlich von unten her mit druckentlastetem Magma erfüllt und es entsteht ein plutonischer oder vulkanischer Gang. Spalten und Gänge sind jünger als ihr Nebengestein und meist auch jünger als ihr Hangendes.

Eine Sonderstellung nehmen die Lagergänge ein, die sich auf leicht geöffneten Schichtenfugen längere Strecken hindurch eindrängten und sehr schwierige Altersprobleme aufrollen, da sie scheinbar konkordant eingelagert, doch jünger als ihr Hangendes sind. Die zahllosen schmalen Lavadecken, die an der Sommawand, wie an so vielen anderen älteren Vulkankegeln entblößt sind, gehören ebenfalls zu den Lagergängen und sind nicht etwa dünnflüssig aufgelagerte Ergüsse.

Das Altersverhältnis von tektonischen Störungen zu vulkanischen Ausbrüchen ist bei rezenten Vulkanen, die ihr Liegendes und dessen tektonischen Verband mit Asche und Lava verhüllten, schwer zu beurteilen. Aber auch sehr tief aufgeschlossene Eruptivgebiete bergen viele Fehlerquellen bei der Beobachtung und Prüfung der Altersbeziehungen.

Es ist klar, daß ein aufdringendes Magmagestein alle liegenden Massen durchschreiten muß, ehe es zur Erdoberfläche gelangt. Ein oberdevonischer Diabas muß also in algonkischen, kambrischen, silurischen und unterdevonischen Schichten ebenso gefunden werden, wie innerhalb der oberdevonischen Gesteine. Daher läßt ein in Spalten, Kanäle oder Lücken eingelagertes Magmagestein niemals den genauen Zeitpunkt der Eruption bestimmen. Nur die bei dem Ausbruch gebildeten Aschentuffe (bisweilen auch übergeflossene Lavadecken, die aber leicht mit Lagergängen verwechselt werden können) ermöglichen eine Altersbestimmung. Ebensowenig wie eine inmitten mitteloligozäner Tone eingelagerte Septarie diesem Zeitalter zugerechnet werden darf, beweist eine mit Basalt erfüllte Spalte im Zechsteinsalz, daß der Basalt permisch entstand.

Ich halte es sogar für möglich, daß vulkanische Ascheneruptionen ohne gleichzeitige Bildung eines Kraters erfolgen und daß nur ein längst verschwundenes Maar an der Ausbruchstelle entstand. Der graue Basalttuff im norddeutschen Paleocän braucht daher keineswegs auf eine außerdeutsche Vulkanmündung bezogen zu werden.

Ebenso wie wir die chronologischen Beziehungen der sich über- und nebeneinander aufbauenden Gesteine an der Hand ihrer Lagerung prüfen, so bietet auch das Gewebe derselben viele interessante Altersfragen. Die Einschlüsse innerhalb einer klastischen Grundmasse sind älter als das sie verkittende Bindemittel; alle diagenetisch entstandenen Schwülen (Konkretionen) und Drusen (Sekretionen) sind jünger als das umhüllende Gestein. Ist die Grundmasse kristallin, dann können wir meist mehrere Generationen von Mineralausscheidungen deutlich unterscheiden, doch haben diese Ausscheidungsfolgen keine geologisch-chronologische Bedeutung.

Literatur (auch zu Nr. 8)

Diener, C., Über die Altersstellung der untersten Gondwanastufe in ihren Beziehungen zu den marinen Sedimenten des Himalaya. Sitzungsb. d. K. Akdem. d.

Wissensch. Wien. Mathem.-naturw. Kl.; Bd. CXXIII. Abt. I. 1914. — Fischer, E., Jura- und Kreideversteinerungen aus Persien. Beitr. z. Paläont. u. Geol. Österreichs-Ungarns u. d. Orients. Bd. XXVII. 1915. — Geyer, G., Über die Gosaubildungen des unteren Ennstales und ihre Beziehungen zum Kreideflysch. Verhandl. d. k. k. geol. Reichsanstalt 1907, Nr. 2 u. 3. — v. Gümbel, C. W., Die miocänen Ablagerungen im oberen Donaugebiete und die Stellung des Schliers von Ottnang. Sitzung d. math.-phys. Klasse Acad. d. Wissensch. München 1887. S. 221. — v. Koenen, A., Über das Auftreten der Gattungen und Gruppen von Ammonitiden in den einzelnen Zonen der unteren Kreide Norddeutschlands. Nachr. d. K. Gesellsch. d. Wissensch. z. Göttingen. 1907. — Krumbeck, L., Die Brachiopoden- und Molluskenfauna des Glandarienkalkes. Beitr. z. Paläontol u. Geol. Österr.-Ungarns u. d. Orients. Bd. XVIII, S. 65. 1905. — Marr, J. E., On Homotaxis. Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, Vol. VI, Pt. II, S. 74. 1887. — Osborn, H. F., Correlation Between Tertiary Mammal Horizons of Europe and America. Annals N. Y. Acad. Sc., Vol. XIII, No. I, p. 1—72. 1900. — Ruedemann, R., Stratigraphic Significance of the Wide Distribution of Graptolites. Bulletin of the Geolog. Society of America, Vol. 22, p. 231—237. 1911. — Schuchert, Ch., The Russian Carboniferous and Permian. Compared with those of India and America A Review and Discussion. American Journal of Science, Vol. XXII, 1906, p. 29. — Stille, Über präcretac. Schichtenverschieb. Jahrb. d. Pr. G. L.-Anstalt 1902, S. 296. — Walther, Über den Bau der Flexuren an den Grenzen der Kontinente. Jen. Zeitschr. XIII, 1887. — Walther, J., Tektonische Druckspalten und Zugspalten. Z. d. deutsch. geol. Gesellsch. 1916, S. 284. — Williams, H. S., The Correlation of Geological Faunas. A contribution to devonian Palaeontology. 1903. United States Geological Survey Bull. No. 210. — v. Zittel, K. A., Über Wengener, St. Cassianer- und Raibler-Schichten auf der Seiser Alp in Tirol. Sitzungsb. d. math.-phys. Klasse d. k. Akad. d. Wissensch. 1899, Bd. XXIX, Heft III, S. 341. München.

6. Die Bedeutung der Fossilien

Eingeschlossen in das dichte oder körnige Gewebe der aufgelagerten Gesteine finden wir die fossilen Überreste ausgestorbener Tier- und Pflanzenarten und diese Zeugen einer früheren Lebewelt lassen sich in mehrfacher Hinsicht wissenschaftlich verwerten.

Seitdem Goldfuss die systematische Bedeutung der fossilen Reste erkannt und sie wie die lebenden Tier- und Pflanzenarten nach Linnés binärer Nomenklatur bestimmte, ist jeder Fund einer neuen fossilen Art eine Vermehrung der systematischen Formenmannigfaltigkeit des organischen Reiches. Nach den in der Zoologie und Botanik bewährten Methoden beschreiben und bestimmen wir die fossile Art, unterscheiden sie von ähnlichen lebenden oder fossilen Spezies und ordnen sie wie jene zu Gattungen, Familien, Ordnungen oder Klassen. Die fossilen Formen werden genau wie die rezenten mit zwei lateinischen Namen bezeichnet, von denen der erste die Gattung, der zweite die Art bestimmt. Ein abgekürztes Zeichen nennt den Autor, der die Art zuerst beschrieben und abgebildet hat. Im allgemeinen ist der Artname wichtiger und bleibender als die Gattungsbezeichnung und wird auch oft für sich allein gebraucht, um ein Fossil oder eine nach ihm benannte Schicht

zu kennzeichnen (Contortastufe für Schichten mit Avicula contorta, Striatakalk für ein Gestein mit Lima striata).

Die Geschichte der Gattungsnamen läßt am besten den Fortschritt der paläontologischen Kenntnisse überschauen. L. von Buch vereinte noch 1832 alle Ammonoiden unter dem Genusnamen „Ammonites“ und unterschied nur eine Anzahl von Gruppen. Erst 1865 schlug E. Suess für einzelne derselben besondere Gattungsnamen vor (Phylloceras, Lytoceras, Arcestes) und dann sind zahlreiche Systematiker auf diesem Wege weitergeschritten, so daß heute etwa 400 Gattungen und mehr als 4000 Arten den beständig wachsenden Formenreichtum gliedern. Einzelne sehr formenunbeständige Arten sind in Mutation oder Varietäten zerlegt worden und ihre ineinander übergehenden Gruppen mit einem dritten Namen versehen worden. Allgemein ist man jedoch bei der binären Benennung geblieben.

Es war natürlich, daß man zunächst versuchte, auch alle fossilen Formenkreise im System der rezenten Fauna unterzubringen, und als Huxley einmal aussprach, daß alle fossilen Formen sich ungezwungen in das System der lebenden Tiere einordnen ließen, glaubte er, die Einheit des irdischen Lebens und seine monophyletischen Zusammenhänge damit am besten zu kennzeichnen. Aber der weitere Gang der Forschung hat uns mit fossilen Formenkreisen, wie Archaeocyathus, Tabulaten, Graptolithen usw. vertraut gemacht, welche zwar mit den übrigen Formen verwandt sind, aber doch als Vertreter besonderer Tierstämme betrachtet werden müssen. Noch viel reichere Ergänzung erfuhr aber das System der Wirbeltiere und der niederen Pflanzen, wo die Zahl der fossilen Ordnungen die rezenten weit überragt. So ist die Paläontologie ein wichtiger Teil der systematischen Zoologie und Botanik geworden, deren Formenfülle sie ergänzt und vervollständigt.

Um das fossile Material in die verwandten rezenten Arten einordnen zu können, ist es allerdings notwendig, daß auch das System der letzteren nicht auf den Unterschieden vergänglicher Weichteile beruht, sondern in erster Linie die Gestalt der unvergänglichen Hartgebilde berücksichtigt. Dieser Grundsatz ist ja glücklicherweise bei den meisten Tiergruppen durchgeführt.

Ein großer Fehler ist es, wenn man aus der Formenähnlichkeit ihrer Schale die Tentakuliten und Hyolithen zu den Pteropoden und die Tabulaten zu den Nesseltieren stellt, ohne daß sich für eine solche Anordnung irgendwelcher Beweis erbringen ließe.

Vom Standpunkt der reinen Systematik ist eigentlich sogar die Aufstellung der Fossilien gesondert von ihren lebenden Verwandten unberechtigt. Sie können folgerichtig nur mit letzteren vereint aufgestellt werden, und eine nur systematisch angeordnete paläontologische Sammlung mit Ausschluß rezenter Arten ist ebenso unvollständig, als wenn

man in einem zoologischen Museum die tropischen Tiere oder die Meeresfauna der Polargebiete für sich allein systematisch anordnen würde.

Von den fossilen Lebewesen sind in der Regel nur die unverweslichen Hartgebilde erhalten geblieben und alle Weichteile müssen ergänzt werden. Trotzdem gibt es zahlreiche Fälle, wo man entweder infolge besonders günstiger Erhaltungsbedingungen noch die weichen Gewebe der Tiere untersuchen oder mit feinsinnigen Methoden enträtseln kann. Bemerkenswert sind besonders die Studien von Sollas über die Struktur des in Steinkohle verwandelten Knorpelschädels von Palaeospondylus oder von Holm und Wiman über die Graptolithen. Daher beruht jede paläontologische Arbeit nicht nur auf der morphologischen Systematik, sondern in noch viel stärkerer Weise auf der vergleichenden Anatomie. Nur der vergleichend-anatomisch gründlich Geschulte ist imstande, die Bruchstücke der fossilen Lebewelt zu ergänzen.

Während die systematische Bedeutung der Fossilien in der Aufstellung und dem Nachweis zahlreicher noch unbeschriebener Arten und Gattungen beruht, kann ein einziger Fund eines einzigen Exemplars, das unter besonders günstigen Umständen fossil erhalten wurde, ausreichen, um die vergleichende Anatomie des Tierreichs wesentlich zu fördern. Man denke an Aëtosaurus, Archäopteryx oder Compsognathus.

Auch eine vergleichend-anatomische Aufstellung des paläontologischen Materials muß durch zoologische Objekte ergänzt werden. Man kann es verstehen, daß die reichen Schätze der fossilen Lebewelt aus praktischen Gründen ihre Sonderstellung im Rahmen naturwissenschaftlicher Museen erworben haben und auch weiterhin bewahren dürften, aber prinzipiell gehört das paläontologische Material unter die zoologischen oder botanischen Vergleichsobjekte.

Uralt sind die Bestrebungen, vereinzelte Funde zu einem Ganzen zu verknüpfen und das ausgestorbene Wesen zu rekonstruieren. Von Leibnitz, der aus einem Elefantenstoßzahn, einem Pferdeschädel und Wirbeln mit ventral gerichtet gedachten Dornfortsätzen ein „Einhorn“ zusammenstellte, bis zu den phantasievoll komponierten Dinosaurierkämpfen amerikanischer Paläontologen führt eine lange Kette von mehr oder weniger gelungenen Versuchen, die Tiere der Vorzeit dem Auge verständlich zu machen. Am einfachsten lassen sich alle mit äußeren Panzern versehenen Tiere darstellen. Die Panzerfische, Gürteltiere und Schildkröten, ebenso wie die meisten marinen Schaltiere bieten keine besonderen Schwierigkeiten. Diese wachsen aber, sobald es sich um ein mit Lederhaut, vereinzelten Schuppen, Panzerplatten oder Hornzapfen, Federn und Haaren bedecktes Tier handelt. Zwar haben vereinzelte glückliche Funde den Umriß von Ichthyosaurus, Tylosaurus u. a. größeren Vertebraten mit Sicherheit zeichnen lassen, aber viele solche Rekonstruktionen beruhen, obwohl sie in Lehrbüchern und populären Werken

oft abgedruckt werden, doch auf sehr unsicheren Voraussetzungen. Wer es einmal versucht hat, fossile Tiere oder Pflanzen zu ergänzen, und dabei nicht nur den Umriß einer, aller Epidermoidalgebilde entbehrenden, farb- und zeichnungslosen nackten Haut, sondern ein lebenswahres Wesen nachzubilden unternahm, der kennt die biologischen Schwierigkeiten und unvermeidlichen Fehler einer solchen Aufgabe. Man braucht sich nur einmal vorzustellen, daß ein gerupfter Pfau, neben einer entfederten Truthenne liegend, kaum wesentliche Unterschiede in dem Körperumriß zeigen würde, oder an die Löwenmähne zu denken, um zu erkennen, daß die meisten Rekonstruktionen mehr dem Zeichenstift des Künstlers als dem abwägenden Urteil des Anatomen ihr Dasein verdanken. Die Schwierigkeiten mehren sich, wenn nur zerfallene Knochen vorliegen, wie der Streit um die Gestalt der Diplodocus offenbarte. Bekanntlich ist es selbst den hervorragendsten Bildhauern noch nicht gelungen, die Haltung der fehlenden Arme an der Venus von Milo befriedigend zu ergänzen — um wieviel unsicherer sind alle tastenden Versuche, aus zerstörten Knochen das lebenswahre Bild eines ausgestorbenen Tieres neu zu gestalten.

Solange man die Fossilien nur als Ergänzung der Systematik rezenter Formen und Erweiterung des Tatsachenmaterials der vergleichenden Anatomie betrachtet, bilden sie einen Teil der Zoologie und Botanik. Erst wenn wir die Fossilien chronologisch ordnen, also unter geologischen Gesichtspunkten prüfen, werden sie ein neues, wissenschaftlich in sich geschlossenes Forschungsgebiet.

Obwohl man bei der Arbeit im Felde meist die Gesteine mit Hilfe von leitenden Fossilien bestimmt und gliedert, so zeigt uns doch der Gang der stratigraphischen Forschung, daß man eigentlich umgekehrt sagen müßte: die chronologische Anordnung der fossilen Arten bestimmen wir aus der Lagerungsfolge der sie umhüllenden Trümmergesteine.

Von ganz hervorragender Bedeutung werden aber die Fossilien für die Erforschung der erdgeschichtlichen Veränderungen und Zustände der Vorzeit. Jedes Fossil hat einmal gelebt, hat sich aus Jugendformen entwickelt, hat bestimmte Lebensbezirke bewohnt, war mit anderen Lebensgenossen vereint und hat nach seinem Tode oft noch die Grenzen seines Lebensraums überschritten. Jede fossile Art hat sich in kürzerer oder längerer Frist in neue Arten verwandelt, hat vielfach neue Wohnstätten aufgesucht, und so sind die stammesgeschichtlich zusammenhängenden Formen durch die Erdgeschichte hindurchgewandert. Einzelne Formenkreise sind ausgestorben, andere haben ihren Platz unter den überlebenden Lebensgenossen eingenommen, und jeder fossile Rest ist ein Dokument der Erdgeschichte.

Da man Wassertiere von luftatmenden Formen, Bodentiere von schwimmenden oder treibenden Bewohnern der Hochsee und Lebewesen

des Salzwassers von denen süßer Seen leicht unterscheiden zu können glaubte, ist allmählich die Ansicht entstanden, daß die fossilen Reste der Vorzeit für sich allein und ohne weiteres genügten, um die geschichtliche Entwicklung der Erde zu erforschen und darzustellen.

Wer die Verteilung der rezenten Arten in warmen und kalten Meeren, flachem und tiefem Wasser, oder auf Wald und Steppengebiet, Ebene und Bergland sorgfältig betrachtet, der wird bald erfahren, daß man mit Hilfe von Arten, ja oftmals kaum mit Gattungen die klimatischen Umstände, unter denen sie leben und sterben, mit Sicherheit erschließen kann. Weil die Gattung Ovibos jetzt nur im nördlichsten Polargebiet von Amerika lebt, kann man nicht schließen, daß andere Arten derselben Gattung auch in der Vorzeit nur auf eisigen Schneefeldern gelebt haben. Selbst wenn Cyprina islandica im Pliocän von Sizilien inmitten zahlreicher mediterraner Arten gefunden wird, dann darf man sie nicht als Beweis einer kalten Meeresströmung betrachten, die das Wasser des Mittelmeeres damals abkühlte. Die Standorte der heutigen Schachtelhalme beweisen nichts für das Klima, unter dem die karbonischen Calamiten gediehen, und die Verbreitung altzeitlicher Einzelkorallen kann durch die Lebensbedingungen rezenter Riffkorallen nicht erläutert werden. Nur wenn wir die biologische Abhängigkeit einer bestimmten Form von besonderen Lebensumständen nachweisen können, wenn Ceratodus als doppelatmender Fisch den Wechsel von Wasserüberfluß und Dürre, oder Hippopotamus ein futterreiches Sumpfland ohne winterliches Eis, wie es sich erst im Diluvium bildete, notwendig für ihr Leben brauchen, kann ein einzelner fossiler Rest zu weittragenden geologischen Schlüssen führen.

So zeigt uns die kritische Betrachtung der Lebensverhältnisse von Pflanzen und Tieren in der Gegenwart, daß man mit der einfachen Kausalreihe, die uns die Aufeinanderfolge der Fossilien in einer Schichtenreihe überliefert hat, niemals zu einer befriedigenden und einwurfsfreien Erklärung paläogeographischer Zustände kommen kann.

Eine vielfach noch unbenutzte, aber überaus reiche Schatzkammer historischer Dokumente bieten uns dagegen die Gesteine, welche die Fossilien umhüllen. Wir können einem Walchiazweig nicht ansehen, wo die Pflanze wuchs und wie sie zugrunde ging; aber wenn wir den Zweig in einer Tuffschicht zwischen Porphyrdecken finden, dann spricht das umhüllende Gestein eine eindeutige klare Sprache. Die seltsame Pleuromeia im Buntsandstein von Bernburg erinnert zwar an die Sukkulenten der heutigen Wüste, aber nur wenn wir sie als Einschluß in geschichteten Sandsteinplatten mitten zwischen diagonal geschichteten verhärteten Sanddünen beobachten, tritt die fruchtbare Oase inmitten einer leblosen Wüste deutlich vor unsere Augen. Die breiten Zähne von Placodus werden uns erst verständlich, wenn wir sie inmitten zerknackter

Terebratulaschalen finden, und vereinzelte alpine Ammonitenschalen im diagonal geschichteten Schaumkalk lassen die zwischen Kalkdünen gestrandeten leeren Schalen leicht erkennen.

Eine Geschichte der Erde können wir nur aufzeichnen, wenn wir die biologischen Tatsachen, die uns die Verbreitung und Aufeinanderfolge der Fossilien erklärt, beständig einordnen in die Schlüsse, die wir aus dem Charakter der Mächtigkeit und Verbreitung der Gesteine ziehen, und nur wenn wir uns bemühen, das Leben der Vorzeit auf dem Hintergrund lithologischer Ereignisse zu betrachten, können wir die Geschichte der Erde und des Lebens beschreiben.

Literatur

Abel, O., Die Rekonstruktion der Diplodocus. Abh. d. zool. Ges. Wien 1910. — Bronn, Briefwechsel in N. Jahrb. f. Mineral. 1857, S. 153, Anm. — Dollo, Les allures des Iquanodons. Bull. sc. de la France XI, 1905. — Eaton, Osteologie of Pteranodon. Mem. Corn. Acad. 1910. — Fraas, E., Führer durch das k. Naturalienkabinett. Stuttgart 1910. — König, F., Fossil-Rekonstruktionen mit zahlreichen wichtigen Literaturhinweisen. — Leibnitz, Protogaea. Göttingen 1749. Taf. XII. — Lucas, F., Animals of the past. Neu York 1902. — Marsh, Dinosauries of North America. Ann. Rep. U. St. G. S. Bd. XVI. — Osborne, H. F., The Age of Mammals. Neu York 1910 nach Knight. — v. Schlotheim, Mineralog. Taschenbuch VII, 1813, S. 3, IX, 1815, S. 288. — v. Schlotheim, Petrefactenkunde 1820. — v. Stromer, Monatsber. d. d. geol. Ges. 1910, S. 85. — Tornier, Ber. der Naturf. Freunde. Berlin 1909. Monatsber. d. d. Geol. Ges. 1910, S. 536.

7. Der Fossilreichtum

Man pflegt die Veränderungen der Erde in äußere (externe) und innere (interne) zu trennen, aber diese Einteilung berücksichtigt nicht recht Art und Ursache der geologischen Kräftequellen. Besser wäre es, tellurische und solare Kräfte zu unterscheiden. Denn abgesehen von der Anziehungskraft, die fast alle Bewegungen beeinflußt, herrschen unterhalb der Erdoberfläche vorwiegend die durch das Wärmegefälle der Erde und des Magmas bedingten Vorgänge, während auf der Erdrinde die meisten Veränderungen unter dem Einfluß des Wärmegefälles der Sonne geschehen.

Bei allen diesen mannigfaltigen Änderungen und Bewegungen entstehen immer wieder in begrenzten Bildungsräumen und innerhalb begrenzter Zeiträume bleibende Neubildungen, die man, wenn sie mehr anorganisch entstanden, als Gesteine, wenn sie vorwiegend durch organische Krafte gebildet wurden, als Fossilien bezeichnet. Sie bilden die beiden wichtigsten Dokumente der Erdgeschichte und mithin die Grundlage jeder geologischen Arbeit.

Die eingelagerten Gesteine sind tellurisch bedingt, die aufgelagerten Felsarten werden wesentlich unter dem regulierenden Einfluß der Wärmestrahlen der Sonne aufgeschichtet, aber die organischen Gesteine und die Fossilien sind Abkömmlinge des Sonnenlichtes.

Aus der geologischen Geschichte der aufgelagerten Gesteine können wir mithin die durch die Sonnenwärme auf der Erde hervorgerufenen Veränderungen, aus der Geschichte der Fossilien zugleich die Wirkung des Sonnenlichtes erschließen.

Beide Kausalreihen gehen nebeneinander durch die Erdgeschichte hindurch. Die Gesteine sind durch ihre flächenhafte Verbreitung und ihre Mächtigkeit für die Erkenntnis regionaler Zustände der Erdoberfläche besonders wichtig, die darin eingeschlossenen Fossilien ergänzen und vervollständigen das erdgeschichtliche Bild, indem sie den braunen Moderboden mit bunten Blumen schmücken, den grauen Meeresschlamm durch formenreiche Tiergestalten beleben und selbst in den Lößstaub der Steppe und den Kalkschlamm der Rifflagunen die unerschöpfliche Mannigfaltigkeit des Lebens einfügen.

Indem wir die Fundorte der Fossilien miteinander verbinden, ergibt sich der Fundraum einer Flora oder Fauna und diesen dürfen wir in den meisten Fällen als den Lebensraum der betreffenden Wesen betrachten.

Freilich wird der beobachtende und sammelnde Paläontologe nicht vergessen dürfen, daß alle unsere Versteinerungen während ihres Lebens vielfach andere Grenzen bewohnten, als das mit ihren Gräbern übersäte Leichenfeld anzeigt.

Das Wasser ist die Heimat alles Lebens und seitdem die ursprünglich mit verschiedenen Salzlösungen erfüllten ältesten Sondermeere sich im Kambrium zum einheitlichen Weltmeer vereint haben, läßt sich zeigen, daß die Einheitlichkeit und Geschlossenheit des die ganze Erdkugel umspannenden Weltmeeres niemals wieder gestört wurde. Noch waren die alten Festländer unbelebte Urwüsten. Daher können wir weder in den Buntwacken des Algonkium noch in den altzeitlichen Grauwacken oder den Sandsteinen, Salzstöcken und Gipslagern späterer Wüsten in weiter Verbreitung Fossilien erwarten. Daß die glazialen Blocklehme und die Magmagesteine fast stets fossilleer gebildet wurden, bedarf keiner Begründung.

Seit der Devonzeit drang das marine Leben durch die Pforten dauernder oder periodischer Flüsse weit hinein in das Herz der Festländer, besiedelte salzige und süße Seen, paßte sich selbst schlammigen oder trockenen Standorten an und überzog schließlich den größten Teil des Festlandes mit seinen grünen Pflanzendecken, die zahllosen Tieren zur Nahrung dienten.

So haben sich die Standorte der Organismen beständig ausgedehnt und damit nahm der Fossilgehalt zunächst der marinen, dann der limnischen und festländischen Gesteine immer mehr zu.

Aber nicht nur die absolute Menge der Lebewesen, sondern auch ihre bionomische und systematische Gliederung hat sich im Laufe der Erdgeschichte vielfach geändert. Je reiner das Salzwasser, je gleich-

mäßiger seine Temperatur und je größer die Menge der durch das Sonnenlicht erzeugten Nahrung wurde, desto formenreicher gestaltete sich das dort gedeihende Meeresleben. Jede Änderung der bionomischen Umstände beeinträchtigt seine Mannigfaltigkeit, daher werden wir immer das biologische Optimum da suchen müssen, wo die meisten Gattungen und Arten gleichzeitig gelebt haben. Diese typenreichen Faunen verwandeln sich schrittweise in artenarme Lebensgemeinschaften, sobald Veränderungen des Salzgehaltes im Brack- oder Süßwasser, Änderungen der Lichtmenge oder der Temperatur ihren hemmenden Einfluß auf die Entwicklung neuer Generationen ausüben. Es entstehen dann artenarme, aber oft dabei sehr individuenreiche Faunen.

Der wichtigste Wendepunkt in der Geschichte des Lebens war aber mit der Besiedelung des Festlandes verknüpft. Der Reichtum an Gattungen und Arten, den wir bei Reptilien, Vögeln und Säugetieren beobachten, darf uns nicht darüber täuschen, daß von den acht Tierstämmen nur drei auf dem Festland heimisch geworden sind. Die Pulmonaten aus dem Stamm der Mollusken, die Arachnoideen, Myriopoden und Insekten aus dem Stamm der Arthropoden bildeten nur eine kleine Auslese aus der reichen Formenwelt des Meeres, welche den physiologisch so schwierigen Schritt aus dem mütterlichen Meere auf das Festland mit Erfolg wagten, indem sie statt der im Wasser atmenden Kiemen luftatmende Organe und neue Formen der Bewegung und Fortpflanzung ausbildeten.

Würden wir die fossile Flora der älteren Meere genauer kennen, so wäre wahrscheinlich auch für die Pflanzenwelt nachzuweisen, daß die heutigen Kryptogamen und Phanerogamen des Festlandes einen zwar ungemein artenreichen, aber doch kleinen Ausschnitt aus der Formenmannigfaltigkeit der Meeresflora darstellen.

Aber der Fossilreichtum eines Gesteins wird nicht allein bestimmt durch die während seiner Bildung auf ihm lebenden Pflanzen und Tiere, sondern in viel höherem Maße durch deren Besitz von erhaltungsfähigen Hartgebilden und Skeletten. Alle weichen Pflanzen und Tiere verschwinden aus dem Fossilgehalt und nehmen teil an dem Aufbau des ihn umhüllenden Gesteins. Wenn wir auch nicht die einstige Form dieser Lebewesen erkennen, so bestimmt doch ihre chemische Zusammensetzung sehr wesentlich den Gesteinscharakter, denn auch die Kohlen, Kalke, Dolomite und Phosphate sind meist umgeformte organische Überreste.

Alltägliche Erfahrung lehrt uns, wie wenige der festländischen Lebewesen, die wir in Wald und Heide, Wiese und Sumpf beobachten, nach dem Tode noch erhalten und damit fossil werden können. Die Pflanzen verwesen oder verwandeln sich in amorphen Humus, die Tierleichen zerfallen oder ihre Reste werden eine Beute nächtlicher Räuber. Selbst im Schlamm großer Seen vermissen wir die Skelette der Fische, die Abdrücke der Schilfblätter oder der Libellen, die ihn einst belebten.

Man sollte glauben, daß das unvergleichlich reichere Leben im tropischen Urwald günstigere Erhaltungsmöglichkeiten böte. Aber wer die javanischen Urwälder durchstreift und dabei beachtet, welche seiner Lebensformen fossil werden können, der wird überrascht, wie restlos die Fülle der Pflanzen und die sich von ihnen nährenden Tiere selbst in der obersten Bodenschicht verschwinden. Hier kann sich nicht einmal eine Fährte bilden, und die ungeheure Masse der Pflanzensubstanz vergeht, ohne den Urwaldboden mit Humus anzureichern.

Es liegt ein seltsamer Widerspruch darin, daß die Erhaltungsbedingungen in der lebensarmen Wüste viel günstiger sind. Die immer wieder austrocknenden Seen sind für die Einbettung von Wassertieren wie von den Fährten wandernder Tiere äußerst geeignet, und aus feinstem Formsand erzeugen die beweglichen Dünen leicht den Abdruck der Spuren. Am Boden von salzigen Seen aber kann sogar die Uferflora derselben erhalten werden. Die unerwartet herabstürzenden Wolkenbrüche entsprechen in ihren Wirkungen auf die in den Tälern lebenden Tiere vielfach den Vorstellungen, die sich bei Betrachtung von Knochenbreschen ergeben. Höhlen bilden während des heißen Tages den Schlupfwinkel von Raubtieren und eine Fülle von grabenden Tieren umhüllt der lockere Boden.

Ungünstig für die Erhaltung von Tieren ist natürlich auch die nivale Region, obwohl hier in der langen Winternacht die Zersetzung der Zellulose verhindert ist, Leichen einfrieren und die vergängliche Sommerflora humusreiche Böden erzeugt.

In der Regel hat es aber der Geologe mit marinen Gesteinen und Tierresten zu tun, während ihre limnischen und salinischen Abkömmlinge nur örtlich verbreitet sind.

Allerdings sind auch weite Flächen des Meeresbodens für die Ansiedlung des Lebens ungeeignet. Der breiige Schlamm schließt sessile Formen aus, hindert vielfach auch die Kiemenatmung der Wassertiere, oft ist auch der Sauerstoffmangel oder die Entwicklung von H_2S lebensfeindlich. Auch wo die Temperatur des Seewassers durch sich begegnende kalte und warme Strömungen beständig wechselt oder wo im Ufergebiet der Salzgehalt immer wieder schwankt, können wir kein Benthos erwarten. So gibt es also auch am Meeresgrunde „Wüsten“, und manche fossilleere Gesteine entstanden in solchen Gebieten.

Aber wir müssen bedenken, daß über diesen lebensfeindlichen Böden doch das offene Wasser liegt, in dem Plankton und Nekton reich entfaltet sein kann. Wenn dann die herbeigetriebenen Planktonschwärme, die Fischzüge oder selbst kräftigere Delphine oder Ichthyosaurier in solche vergiftete Buchten eindringen, wenn das gasreiche Tiefenwasser aufgewühlt wird, dann sterben ganze Faunen des offenen Meeres und finden in dem lebensfeindlichen Bodenschlamm ein sicheres Grab. Kein aasfressender

Krebs, kein Raubfisch verletzt die Leichen, und so bilden sich hier fossilreiche Faunen im leblosen Gebiet. Der Globigerinen-, der Radiolarien- und Diatomeenschlick, der heute so ungeheure Flächen der Tiefsee bedeckt, sind ein beredter Beweis dafür, welch reiche Faunen auf leblosem Grunde abgelagert werden können.

Wenn der Zoologe mit dem Schleppnetz über dem Meeresboden fischt und dann am Bord des Schiffes die formenreiche Beute bewundert, dann darf er annehmen, daß er einen beträchtlichen Teil der dort lebenden Organismen vor sich hat. Zwar fehlt das Plankton und Nekton in seinem Netz, oft bietet ihm dieses auch nur die trägeren Tiere. Oft ist das Zahlenverhältnis dadurch verschoben, daß die eine oder andere Form an ihrem Laichplatz vorübergehend zahlreich versammelt war —, aber im allgemeinen wird derjenige, der an einer Stelle öfters dredgt, eine richtige Vorstellung von dem Formenbestand erhalten. Wenn man dann, wie ich dies bei wiederholtem Aufenthalt in Neapel getan habe, die in einem Faziesbezirk zusammenlebenden Tiere und Pflanzen wochenlang im Versuchsaquarium beobachtet, dann ergeben sich Erfahrungssätze, die auch allgemeinere Gültigkeit beanspruchen können. Aber immer wieder müssen wir die fossile Lebewelt mit anderen Augen betrachten, wie eine lebende Genossenschaft, weil deren Elemente sich beim Tode sehr wesentlich verschieben.

Wir müssen zunächst hervorheben, daß die fossile Fauna in der Regel nur geringe Spuren ihrer Nahrung enthält. Es fehlt in der Regel die ganze Flora planktonischer und benthonischer Pflanzen, die wir als Urnahrung jeder Fauna betrachten müssen. Alles tierische Protoplasma ist umgewandelte Pflanzensubstanz und das Tier wandelt diese in der Regel mit solcher Verschwendung um, daß wir die kümmerlichen Reste mariner Pflanzen, die wir zwischen den Abdrücken der Fauna bemerken, sehr vervielfältigen müssen, um den ursprünglichen Lebensbestand wieder herzustellen.

Von der Fauna selbst fehlen sodann alle diejenigen Formenkreise, die zu den skelettlosen Weichtieren gehören. Da die Skelettbildung in den flachen Wasserzonen ihren Höhepunkt erreicht und mit zunehmender Tiefe immer mehr schwindet, so wird eine litorale Fauna ungleich formenreicher erscheinen, als eine solche des tieferen Wassers.

Andererseits müssen wir bedenken, daß alle skelettbildenden Formen erdgeschichtlich von Weichtieren abstammen, daß Würmer und wurmähnliche Organismen in der Urfauna vorherrschten. Die Häufigkeit von Bewegungsspuren in kambrischen Sandsteinen, die wir nicht auf die wenigen hornschaligen Brachiopoden und Trilobiten zurückführen können, ist der Ausdruck für die große Zahl damals noch nicht durch Panzer geschützter Meerestiere.

Viele Tiere besitzen zwar kalkige oder kieselige Skelette, aber deren Gefüge ist so locker und sie sind so mit vergänglichem organischem Gewebe durchwachsen, daß sie nach dem Absterben zerfallen. Vielleicht hängt die Fossilleere mancher älteren Kalke damit zusammen, daß ihre Substanz zwar organisch ausgeschieden wurde, aber die äußere Skelettform beim Faulen der Tiere verfiel.

Andere Tiere bilden zwar harte Stützelemente, aber sie sind nicht miteinander verwachsen, sondern gelenkig verbunden. Viele Spongien, alle Echinodermen, Krebse und Wirbeltiere haben solch zusammengesetzte Mosaikpanzer, die sofort nach dem Tode zerfallen. Wie selten erkennen wir in einer Krinoidenbresche oder einem Trochitenkalk zusammenhängende Seelilien, wie selten sind wohlerhaltene Krebse und Fische. Es kommt in diesem Fall hinzu, daß die zuletzt genannten Gruppen vielfach von Tierleichen leben oder mit ihren Kiefern und Beinen selbst feste Skelette zerbrechen und zerkleinern. Man kann behaupten, daß wohlerhaltene Krebse und zusammenhängende Fische ein Zeichen dafür sind, daß diese Formen der betreffenden Fauna meistens fremd sind und nicht dort gelebt haben, wo wir sie fossil finden.

So bleibt also nur ein Teil der einst zusammen lebenden Genossen fossil erhalten. Von ihnen fehlen auch meist die weniger gut gepanzerten Jugendformen, und so ist jede fossile Fauna eine beschränkte Auslese aus einer ursprünglich viel reicheren Lebewelt.

Endlich kommt für die Beurteilung der Formenarmut älterer Schichten noch hinzu, daß in dem Maße, als wir ältere Schichtenfolgen untersuchen, auch die Wahrscheinlichkeit wächst, daß sie metamorphosiert und hierbei sekundär fossilleer geworden sind.

Die Fazies aber, in der alle geschilderten Vorgänge am bezeichnendsten auftreten, sind die Riffe. Kein Wunder, daß Riffkalke, die wesentlich aus organischen Kalkresten aufgebaut wurden, in ihrer Masse fast versteinerungsleer sind und daher über ihre Entstehung so lange Zweifel bestehen konnten.

Der Fossilreichtum eines Gesteins ist aber auch daran geknüpft, daß wir die einzelnen Formen scharf unterscheiden und bestimmen können. Deshalb wird er durch die Umstände, welche beim Tode der betreffenden Wesen ihre Reste erhielten oder zerstörten, sehr wesentlich beeinflußt. Jeder dichte organische Kalk ist eine bis zur Unkenntlichkeit zerriebene Masse von Fossilien, jedes Kohlenflöz eine Anhäufung zerriebener Pflanzenteile, und wer die kohlig verfärbten Letten und Sandsteine, die kalkigen Mergel und Geschiebelehme genetisch betrachtet, der sieht in einem beträchtlichen Teil ihrer Masse zerstörte Fossilien.

Sehr stark wird der Fossilgehalt eines Gesteins dadurch beeinflußt, daß viele Hartgebilde nach dem Tode ihres Trägers aktiv oder passiv über die Grenzen des Lebensraums hinaus verschleppt und verfrachtet

wurden. Die Ammonitenschalen eines Lebensbezirks können wegen ihrer hydrostatischen Eigenschaften aus der Fauna ihres Lebensbezirks völlig verschwinden und im Küstensaum eines entfernten Meeresteils, wo sie nie gelebt haben, in ungeheurer Menge angetrieben und eingebettet werden. Eine einzige warme Quelle sammelt während der diluvialen Schneezeit die Fauna des umgebenden schneebedeckten Landes auf viele Meilen Entfernung, und wer nach dreitägiger Kamelreise durch wasserleere Wüste mitten zwischen kahlen Sanddünen eine Wasserlache erreicht, die durch einen kurzen spontanen Ruckregen entstanden ist und tagelang so viel Wasser enthält, daß die flüchtigen Wüstenbewohner durstig zur fernen Tränke eilen, der kann es wohl begreifen, weshalb bei Mauer mit Ausnahme von Hippopotamus eine Fauna zusammengefunden wird, welche die Bewohner des Waldes wie der Steppe mit dem tierischen Urmenschen an demselben Fundpunkt vereinte.

Eine besondere Bedeutung haben die als Seltenheiten gefundenen Fossilien inmitten einer andersgearteten Fauna oder fossilleerer Gesteine. Sie sind entweder Pioniere, welche neue Siedelungsplätze suchten und dabei zugrunde gingen, oder Relikte, welche noch lebten, als ihre Lebensgenossen schon zugrunde gegangen waren. Oftmals müssen wir in ihnen die durch zufällige Umstände erhaltenen Exemplare einer in größerer Zahl lebenden Gesellschaft sehen, oder es handelt sich um vereinzelte Individuen, die durch die Ungunst der Verhältnisse aber zugunsten des sammelnden Geologen von ihrem Standort soweit entführt und verschleppt wurden, daß sie als Leitfossil besonders wertvoll wurden. Nur selten werden wir annehmen dürfen, daß das vereinzelt gefundene Fossil von einem Einsiedler herrührt, der abseits von seinen Artgenossen lebte.

Aber da der lokale Fossilgehalt nicht nur durch die ursprünglichen Bildungsverhältnisse bedingt, sondern ebensosehr durch die nachträglichen Veränderungen des fossilführenden Gesteins beeinflußt wird, werden wir an jedem Fundort zu prüfen haben, wodurch die besondere Häufung der Fossilien bedingt ist. Nur selten können wir diese für die erdgeschichtliche Beurteilung unserer Funde so wichtige Frage aus dem Material ersehen, das von Anderen gesammelt in unseren Museen liegt. Nur wer selbst den Fundort sorgfältig studiert und einen Teil seines Materials an Ort und Stelle gesammelt hat, kann dasselbe so bearbeiten und verwerten, wie es der heutige Standpunkt unserer Wissenschaft verlangt.

Wir müssen also bei der Prüfung des bestimmbaren Inhalts eines Fossilfundes folgende Fälle unterscheiden:

1. Nachträglich fossilleer gewordene Gesteine enthalten vereinzelte Reste = örtliche Umstände haben deren Zerstörung verhindert.

2. Ursprünglich fossilleere Gesteine enthalten vereinzelte Reste als
   a) eng umschriebener Lebensraum (Oase) inmitten lebensfeindlicher Bedingungen,
   b) eingewanderter Vorposten aus einem entfernten Lebensbezirk,
   c) letzte Überlebende eines aussterbenden Geschlechts.
3. Die Fauna enthält nur eine Art.
   a) Auslese durch ungünstige Lebensbedingungen, denen sich nur eine Art anpassen konnte,
   b) nur eine Art wurde erhalten, während die Lebensgenossen abstarben, ohne Reste zu hinterlassen.
4. Die Fauna enthält mehrere Arten und Gattungen in vereinzelten Exemplaren, bedingt durch
   a) günstige Einbettungsverhältnisse in einem lebensarmen Gebiet.
5. Die Fauna ist reich an Arten, Gattungen und Individuen, weil günstige Lebensverhältnisse und günstige Erhaltungsbedingungen zusammentrafen.

Literatur

Engel, Über einige neue Ammonitenformen des schwäbischen Jura. Jahreshefte d. Vereins f. vaterl. Naturk. i. Württemberg 1896, S. LXIV. — Fischer, E., Geologische Untersuchung des Lochengebiets bei Balingen. Jena 1913. Geol.-Paläont. Abhandl. Neue Folge. B. XI, Heft 4, S. 267. — Fraas, E., Die Höhlen der schwäbischen Alb. 1901. Tübingen. — Fraas, E., Die Hautbedeckung von Ichthyosaurus. Jahrh. d. V. f. vaterl. Naturk. in Württemberg. 1894. S. 493. — Fraas, E., Über die Finne von Ichthyosaurus. Jahrh. d. V. f. vaterl. Naturk. in Württemberg 1888, S. 280. — Fraas, E., Lolignites (Geotheuthis) Zitteli Eb. Fraas. Ein vollständig erhaltener Dibranchiate aus den Laibsteinen des Lias. Jahrb. d. V. f vaterl. Naturk. in Württemberg 1889, S. 217. — Hennig, Edw., Saurichthys-Funde von Rüdersdorf. Centralb. f. Min. etc., Jahrg. Nr. 2, S 54. — von Huene, F, Ein ganzes Tylosaurus-Skelett, Geol. Paläont. Abhandl. Neue Folge, Bd. VIII, Heft 6, S. 297, Jena 1910. — Jaekel, O, Über Holopocriniden etc. Zeitschr. d. d. geol. Gesell. B. 43, 1892. — Jaekel, O., Über Plicatocrinidae das. B. 44, 1892. — Jahn, J. J., Über das Vorkommen von Bonebed im Turon des östl. Böhmens. Sep.-Abdr. a. d. Verhandl. d. k. k. geol. Reichsanstalt 1904, Nr. 14, S. 317. — Knebel, W. v, Die Eryoniden der ob. Weißen Jura von Süddeutschland. Archiv f. Biontologie B. II. Berlin 1907. — König, F., Über die Wirbeltierfunde in den österreichischen Bergwerken. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen 1914, No. 1, 2 und 4. Wien 1914. — Kremmling, W., Beitrag zur Kenntnis von Rhamphorhynchus Gemmingi H. v. Meyer. — Nova Acta, Abh. d. Kaiserl. Leop. Carol. Deutschen Akad. d. Naturforscher, Band XCVI, No. 3, Halle 1912, S. 349. — Osborn, H. F., IV, A Complete Mosasaur Skeleton, Osseous and Cartilaginous. Part V, A Skeleton of Diplodocus. Memoirs American Museum of Natural History 1899, S. 167. — Pavlow, M., Nouvelles trouvailles de Mastodon Borsoni Lart. au sud de la Russie. Annuaire géol. et min. de la Russie T. V, 1901. — Ratzel, Der Lebensraum, eine

biogeographische Studie. Tübingen 1901. — Richter, R., Die Entstehung der abgerollten „Daleider Versteinerungen“ und das Alter ihrer Mutterschichten.“ Jahrbuch der Königl. Preuß. Geologischen Landesanstalt, Band XXXVII, Teil I, Heft 2, 1916, S. 247. — Schlosser, M., Die fossilen Säugetiere Chinas. Centralblatt für Mineralogie etc. 1902, No. 17, S. 529. — Schlosser, M., Die fossilen Säugetiere Chinas nebst einer Odontographie der recenten Antilopen. Aus den Abhandlungen d. k. bayer. Akademie d. Wiss. II, CCXXII. Bd. I. Abth. München 1903. — Schroeder, H., Ein Stegocephalen-Schädel von Helgoland. Jahrb. d. Pr. Geol. Landesanst., Bd. XXXIII, Teil II, H. 2, Berlin 1913, S. 231. — Sollas, W. J., An Account of the Devonian Fish: Palaeospondylus Gunni, Traquair. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Vol. 196, p. 267—294, 1903, B. 222. — Sollas, W. J., A Method for the Investigation of fossils by Serial Sections. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B. Vol. 196, p. 259—265, 1903, B. 221. — Sollas, W. J., A Study of the Scull of a Dicynodon by means of Serial Sections. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B. Vol. 204, p. 201—225, 1913, B. 308. — Springer, F., Some New American Fossil Crinoids. Memoirs of the Museum of Comparative Zoölogy. Vol. XXV, No. 3, 1911, S. 115. — Swann, R., The Life of the Connecticut Trias. From the American Journal of Science. Vol. XXXIII, 1912, S. 397. — Traquair, R. H., Supplement to the Lower Devonian Fishes of Gemünden. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Vol. XLI, Part II, No. 20, S. 469, MDCCCV. — Traquair, R. H., The Lower Devonian Fishes of Gemünden. Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Vol. XL, Part IV, No. 30, S. 723, MDCCCCIII. — Walther, J., Die Auslese in der Erdgeschichte. Jena 1895. — Wiman, C., The Structure of the Graptolites. Natural Science Vol. IX, No. 56, 1896, S. 186. — Wüst, E., Untersuchungen über die Decapoden-Krebse der germanischen Trias. Jena 1903.

8. Die Faziesfossilien

Wie der Botaniker bestimmte Pflanzen nur an besonderen Standorten findet, so weiß auch der sammelnde Paläontologe, daß zwischen den Eigenschaften der Gesteine und der darin eingeschlossenen Fossilien äußere und innere Beziehungen bestehen.

In oberdevonischem Schiefer finden wir Tentaculiten, die in einem anderen durch Cypridinen ersetzt werden, in einem Kalk sammeln wir Schnecken und Korallen, in anderen Kalkgesteinen dafür Brachiopoden und während ein Sandstein voller Abdrücke von Muscheln erscheint, treffen wir in einem nahe dabei anstehenden Schiefer nur Cephalopodenschalen. Schon Stenon unterschied: sex distinctae Etruriae facies ex praesenti facie Etruriae — aber erst Greßly erkannte die Fazies als bionomische Einheit, nachdem er bei seinen tiergeographischen Studien im Schweizer Jura mit Sorgfalt verfolgt hatte, daß in bestimmten Gesteinen eine besondere Fauna enthalten ist, die überall auftritt, wo sich dasselbe Gestein findet, während sie in anderen Nachbargesteinen fehlt.

v. Mojsisovics hat dann vorgeschlagen, zwei faziell gleiche Gesteine als isopisch und zwei verschiedene aber gleichalterige Ablagerungen als heteropisch zu bezeichnen.

Eine einfache Erwägung zeigt uns, daß die Gesteinsfazies, welche eine fossile Fauna oder Flora umhüllt, nichts anders ist als der Standort einer rezenten Lebensgenossenschaft und daß wir nach den Gesetzen, die diese beherrschen, auch jene beurteilen müssen.

Es ist leicht verständlich, weshalb in einem organisch gebildeten Gestein neben undeutlichen Trümmern auch wohlerhaltene, vollständige Reste der Lebewesen gefunden werden, die seine Masse bildeten. Wenn wir also in einer Kohlenbank Stigmarien, in einem Riffkalk Stromarien oder Korallen finden, so sind diese Einschlüsse leicht verständlich.

Auch sieht man ein, daß auf Schlammboden andere Tiere lebten, wie auf sandigem Grunde und daß im Faulschlamm einer toten Bucht andere Fossilien eingebettet wurden, wie auf den Klippen eines Kalkriffes. In diesen Fällen entspricht der fazielle Fundort dem Lebensraum der entsprechenden Fauna.

Verwickelter werden die Verhältnisse, wenn es sich nicht um bodenbewohnende Tiere handelt, sondern um die planktonische Drift ihrer Hartgebilde. Hier ist der Ablagerungsort des Gesteins nicht der Standort, sondern nur das Grab der Fauna. Aber doch bestehen auch hier ursächliche Beziehungen zwischen dem dort abgelagerten Sediment und der Zusammensetzung der darin eingeschlossenen Fossilien.

Neben den fossilführenden Gesteinen entstanden aber zu allen Zeiten auch geschichtete Trümmerablagerungen, auf denen weder Pflanzen gedeihen, noch Tiere Nahrung finden konnten. Grobkörnige Schuttmassen, Blocklehm und Bänderton, bunte Sandsteine und rote Letten, chemisch abgeschiedene Gipse, Kalke und Salze bildeten sich in lebensfeindlichen Becken und können daher auch nur vereinzelte Irrgäste von Fossilien enthalten.

Der Bildungsraum jeder Fazies wird von einem Grenzgebiet umgeben, an dessen Rande die Ablagerung des betreffenden Gesteins aufhört. Gewöhnlich wird die Faziesgrenze eingeleitet und vermittelt durch eine Abnahme der Mächtigkeit, und besonders die in ariden festländischen Sammelmulden entstandenen Fazies keilen häufig mit scharfem Rande aus, weil jenseits der Faziesgrenzen schon das dazu gehörige Abtragungsgebiet beginnt.

Anders liegen die Verhältnisse am Meeresgrund, wo in der Regel eine große Mannigfaltigkeit verschiedener Fazies nebeneinander entsteht. Hier ist im Gegenteil das Randgebiet durch großen Fazieswechsel ausgezeichnet, während in den großen Tiefen eines Meeresbeckens unter gleichartigen lithologischen Bedingungen sehr weit ausgedehnte Decken gleichartiger Fazies abgelagert werden.

Nur wo vulkanische Archipele oder Kalkriffe den weiten schlammbedeckten Meeresgrund überragen, da begegnet uns wieder ein rascher Fazieswechsel in oft sehr verwickeltem Verband.

Ebenso wie die geographischen Grenzen einer Fauna oder Flora häufigen Schwankungen unterliegen, so ändert sich auch sehr leicht die Faziesgrenze und besonders am Meeresgrund oder am Boden ausgedehnter Binnenseen kann durch wechselnde Zufuhr von Schlamm oder Staub, Sand oder Geröll durch Strömungen und Flußverlagerungen ebenso wie durch klimatisch bedingte Veränderungen der Lebensgenossen so leicht ein Fazieswechsel entstehen, daß sich solche Vorgänge immer wieder im Schichtenprofil erkennen lassen.

Wenn wir die Bildungsfolge zweier nacheinander entstehender und sich also im Profil überlagernder Fazies recht verstehen wollen, dann müssen wir die durch seitliche Transportkräfte herbeigeführten Ablagerungen von denen unterscheiden, die spontan und bodenständig von oben her neu entstehen.

Alle vom Wasser oder Eis über den Erdboden verfrachteten Trümmergesteine haben bewegliche Faziesgrenzen, die sich leicht verschieben und dabei übereinander eine aus verschiedenen Nachbarfazies entstehende Schichtenfolge aufbauen.

Aber chemische Niederschläge, organische Kalke und Kohlengesteine ebenso wie die aus der Atmosphäre niederfallenden staubigen Massen und die von fernen Vulkanausbrüchen herrührenden feinen Aschen oder Bimssteine können spontan auf jeder anderen Faziesunterlage entstehen und damit neue Siedelungsplätze und Standorte für Flora und Fauna schaffen.

Wenn wir in einer Schichtenfolge prüfen, wie sich die aufeinander folgenden Gesteine nebst ihren organischen Einschlüssen zueinander verhalten, so sehen wir allmähliche langsame Übergänge ungemein selten. Mit scharfer Fuge legt sich vielmehr Schicht auf Schicht, und Schieferton, organischer Kalk, Gips oder Letten schaltet sich unvermittelt zwischen Sandstein- oder Konglomeratbänke ein.

Es kann wohl als ein fester Satz betrachtet werden, daß sich im allgemeinen nur solche Fazies überlagern können, die sich auch nebeneinander innerhalb desselben Faziesgebietes bildeten.

Daher darf man auch an den Rändern einer Fazies nicht allmähliche Übergänge erwarten, wohl aber ergibt sich aus den hier herrschenden Umständen, daß Faziesgrenzen durch auskeilende Zwischenschichten und häufige Wechsellagerung der sich hier begegnenden Bildungen ausgezeichnet sein müssen.

Es hängt nun ganz von der Größe des Aufschlusses ab, ob und wieweit man dieses Auskeilen und die gegenseitige Verschränkung zweier Nachbarfazies überschauen kann. In der Regel wird man im kleineren Aufschluß nur die eine Fazies im Hangenden der anderen beobachten und muß sich hüten, aus dieser lokalen Überlagerung auf ein verschiedenes Alter der Gesteine und ihres Fossilgehaltes zu schließen.

Die einzelne Fazies ist also meist mit anderen Fazies verbunden und bildet mit ihnen ein kleineres oder größeres Faziesgebiet, innerhalb dessen die einzelnen Ablagerungen, da sie unter den gleichen Bedingungen entstanden sind, im allgemeinen manche gemeinsamen Eigenschaften besitzen. So können auf einem Korallenriff ungeschichtete fossilleere, höhlenreiche Massenkalke neben dünnplattigen, fossilreichen Kalken und sogar diagonal geschichtete Kalksanddünen entstehen, in denen wir nur die abgeriebenen Schalenstücke litoraler Tiere, gemischt mit Oolithkörnern, den leeren Schalen nekroplanktonischer Ammoniten und den Knochen gestrandeter Saurier finden.

Am Boden eines Salzsees bilden sich vielleicht wohlgeschichtete Salzplatten, während am Ufer bunte Letten mit Gipsknollen entstehen, und über eine weite salzige Tonpfanne kann eine Düne schreiten, die demselben ariden Klimagebiet angehört. Ungeheuer mannigfaltig sind die Wechselbeziehungen, die wir beim Studium rezenter Faziesgebiete erkennen, und fast unmöglich ist es, daraus Regeln abzuleiten für die Beurteilung vorzeitlicher Zustände.

Indem Cuvier die Wechselbeziehungen der einzelnen Organe eines Tieres zueinander als ihre Korrelation bezeichnete, gewann er ein Mittel, um einzelne Knochenteile auf das Skelett eines Pflanzenfressers oder Fleischfressers, eines Kletterticres oder eines Wühltieres zu beziehen. In ähnlicher Weise müssen wir die in vollständigen Aufschlüssen vorhandenen Wechselbeziehungen zwischen Gestein und Fauna sorgfältig untersuchen und vergleichen, um die Korrelation der zusammengehörigen Fazies zunächst rein empirisch festzustellen und danach solche Schichtenfolgen zu beurteilen, in denen eine Fazies scheinbar unvermittelt inmitten eines anderen Gesteins auftritt und mit anderen lithologischen Eigenschaften auch einen wechselnden Fossilgehalt vor unsere Augen führt.

Solange man jede Überlagerung nur als Ausdruck eines verschiedenen geologischen Alters betrachtet und nicht bedenkt, daß die Schichtenfugen zwischen solchen verschiedenen Gesteinsgliedern auch schiefe Ebenen sein können, an denen zwei gleichzeitig geologisch gebildete Fazies sich aneinanderlagern, wird man niemals zu einer wirklichen historischen Auffassung der Schichtenfolge gelangen.

Aber auch in einer anderen Richtung wird man künftig mit besonderer Aufmerksamkeit den Schichtenverband prüfen müssen: Jede noch so schwache Zwischenschicht in einer mächtigeren einheitlichen Gesteinsfolge ist durch anders geartete lithologische Umstände entstanden, ist eine besondere Fazies und muß daher in ihrer Eigenart erkannt und von der liegenden oder hangenden Schichtenreihe unterschieden werden. Es geht nicht an, die roten Letten des mittleren Keupers nach dem Gesteinsgehalt oder den Fossilien des ihn unterlagernden Grenzdolomits, oder die Bildung der fossilleeren Sandsteine der unteren Trias nach den

ihnen eingeschalteten roten Letten oder Rogensteinen zu beurteilen und ihre Entstehungsweise an der Hand der darin gefundenen Einschlüsse zu erklären. Jede Fazies hat ihre eigenen Gesetze, und innerhalb eines großen Faziesbezirks leben auf verschiedenem Grunde so verschiedene Lebensgenossen, daß die Bewohner einer Oase niemals als Zeugen für die allgemeine Besiedelung der umgebenden Wüste angeführt werden sollten.

Die Fauna, die sich uns in den Plattenkalken von Solnhofen so wunderbar erhalten hat, ergibt in ihrer systematischen Zusammensetzung ein Gemisch von Tieren, die niemals an demselben Standort zusammen gelebt haben können. Nur wenn wir ihre einzelnen bionomisch verschiedenen Elemente scharf sondern, Geobios von Hydrobios, Benthos von Nekton, und Plankton von Nekroplankton trennen und nur ein gemeinsames Grab sehen, wo andere eine Gesellschaft von Lebensgenossen erblickten, gewinnen wir ein lebensvolles Bild dieses merkwürdigen Fundortes und der damaligen klimatisch-geographischen Umstände.

Jede Fazies ist eine lithologische und damit auch eine bionomische Einheit, die mit anderen benachbarten Fazies zu einem kleinen oder großen Faziesgebiet verbunden ist und deren Grenzen wechseln, wie die Zunge eines Gletschers oder das Überschwemmungsgebiet eines Flusses. Jede isopische Fazies hat ihre labilen Grenzen und mit ihr verschiebt sich der Lebensbezirk der darauf gedeihenden Tierwelt im Streichen wie nach dem Hangenden. Es gilt daher zunächst an der Hand der Gesteine ihre horizontale Ausdehnung festzustellen, sodann zu prüfen, inwieweit die Verbreitung einzelner Fossilien damit übereinstimmt. Endemische Bewohner sind von fremden Irrgästen und passiver Drift zu trennen und über deren Bedeutung als Leitfossilien darf man nicht vergessen, daß sie Fremdlinge sind.

Nur die auf verschiedener Fazies, also auf verschiedenem Standort lebenden Meerestiere können uns Aufschluß geben über die faunistische Zusammensetzung einer marinen Schichtenfolge. Untersuchungen, die Forbes vor langen Jahren in der Irischen See und im Ägäischen Meer darüber angestellt hat, sind von mir am Golf von Neapel weitergeführt worden und haben folgende Ergebnisse gehabt:

Die Reste der im offenen Meere schwimmenden Säuger, Reptilien, Vögel, Fische und Krebse werden nur selten und meist in zerbrochenen vereinzelten Resten erhalten, selbst wenn sie die oberen Wasserschichten in großen Schwärmen belebten.

Ein ganz irreführendes Bild erhalten wir von der Verteilung der Cephalopoden mit hydrostastischen Schalen (Nautilus resp. Ammoniten, Sepia resp. Belemniten, Spicula), da sie nach dem Tode ihrer Bewohner kürzere oder längere Strecken an der Meeresoberfläche treiben und vorzugsweise in litorale Ablagerungen geraten, wo sie nie gelebt haben.

Die kleinen Schalen der planktonischen Foraminiferen, Rediolarien, Diatomeen, Kalkalgen, Ostrakoden, ebenso Graptolithen, Tentaculiten, Cypridinen u. a. finden sich zwischen den bodenbewohnenden Faunen verteilt, oder für sich allein in lebensarmem Schlamm jeder Tiefe von der Küste bis zur Tiefsee.

Die Mehrzahl der küstennahen Conchylien wird bis zur Unkenntlichkeit zerstört und bedeckt als grober oder feiner Kalksand das Ufer wie den Boden des seichten Wassers. Örtliche Ansammlungen wohlerhaltener Schalen sind mehr durch postmortale und diagenetische Vorgänge, als die ursprüngliche Verbreitung bedingt.

Der normale Salzgehalt des Wassers äußert sich in einer arten- und gattungsreichen Bodenfauna, die um so individuenreicher ist, je mehr das Wasser von der Sonne belichtet und damit pflanzenreich wurde. Jeder Wechsel im Salzgehalt, ebenso wie seine Verminderung verarmt die Fauna und schafft artenarme, kalkarme, aber dabei oft individuenreiche Standorte.

Die Verteilung der Bodenfauna wird aber am stärksten durch die Beschaffenheit des Bodens bestimmt, dessen größere oder geringere Beweglichkeit, Korngröße, Gehalt an Nahrungsbestandteilen und Pflanzenwuchs bestimmte Faziesgebiete bedingt, deren Grenzen beständig schwanken, so daß benachbarte Sedimente miteinander wechsellagern und auch die dort lebenden Faunen in wiederholtem Wechsel übereinander schichten.

Von den im Golf von Neapel beobachteten 1120 Tierarten leben 360 auf der mit hartem Sand, Kalkalgen oder Felsen bedeckten Taubenbank. Jeder Dredgezug fördert hier ein artenreiches, buntes Tierleben zutage. Auf dem umgebenden Schlamm aber leben nur 142 Arten, davon 10 nur auf den darin eingesenkten Fremdkörpern, 70 sind als gelegentliche Überläufer und Einwanderer von der Taubenbank zu betrachten und nur 62 Arten, also $^1/_{20}$ der gesamten Golffauna, müssen als Bewohner der schlammigen Fazies betrachtet werden. Wenn man aber nur die mit erhaltungsfähigen Hartgebilden geschützte Tieren berücksichtigt, die also Aussicht haben, als Fossilien in die betreffenden Sedimente eingeschlossen zu werden, so leben auf der Taubenbank 310 Arten, während 45 Arten im Schlamm erhalten werden können. Nur 14 Arten sind beiden Fazies gemeinsam und würden daher als Leitfossilien in Frage kommen.

Da ich meine Untersuchungen auf der Taubenbank nach einer Unterbrechung von 25 Jahre fortsetzte und zu Ende führte, bot sich mir eine besonders günstige Gelegenheit, die inzwischen erfolgten lithologischen und biologischen Veränderungen zu untersuchen. Da war besonders bemerkenswert, daß große mit feinem foraminiferenreichen Muschelsand bedeckte Flächen sich inzwischen mit Kalkalgenrasen überzogen hatten,

deren Mächtigkeit so groß war, daß die scharfe Dredge nicht ein einziges Mal durch die Algenschicht hindurchgriff und die darunter liegenden Kalksande mit erfaßte. Die Bildung dieser Kalksande durch die Tätigkeit von muschelknackenden Krebsen habe ich methodisch untersucht. Vier Palinurus von 12 bis 14 cm Länge ließ ich einige Tage fasten und schüttete dann 830 Exemplare von Venus gallina in ihr Becken. Nach drei Tagen waren alle Muscheln in scharfkantige Bruchstücke zerteilt. Jeder Krebs erzeugt täglich etwa 280 g Muschelsand; es würden also 60000 Krebse, die auf einer Fläche von 1 qkm leben, diese innerhalb 25 Jahren mit einer 1 cm hohen Kalksandschicht bedecken.

Forbes beobachtete, wie auf seiner Muschelbank der irischen See Fissurella graeca innerhalb 5 Jahren neu einwanderte, und Lottia testudinalis, die vorher sehr selten war, sich ungemein vermehrte.

Im Jahre 1895 erschienen an der Küste von Neapel solche Mengen von Mactra stultorum, daß die Fischer in vier Wochen täglich etwa 200 kg erbeuteten und zum Markte brachten; in derselben Zeit wurden an der Küste des Posilip täglich 200 bis 250 kg Cardium tuberculatum und C. aculeatum erbeutet, die dann wieder ebenso selten wurden wie vorher.

Auf der Taubenbank erschienen als neue Ansiedler nach 25 Jahren Venus effossa und Caryophyllia cyathus, dagegen war Polystomella crispa, die vorher in dem weitverbreiteten Muschelsand so häufig gewesen war, daß ich sie in den meisten kleinen Grundproben fand und danach eine Karte ihrer geographischen Verbreitung auf der Taubenbank veröffentlichen konnte, so selten geworden, daß ich sie nur an wenigen Stellen wiederfand. So ändern sich die Verbreitungsgrenzen der Tiere beständig, entweder im Zusammenhang mit Verlagerungen der Fazies oder auch unabhängig davon infolge anderer rein physiologischer und biologischer Umstände, und so ist es kein Wunder, wenn wir auch in der sich überlagernden Schicht einen beständigen Wechsel der Arten und Gattungen beobachten, die mit transgredierenden Bewegungen des Ozeans oder Änderungen seiner Tiefe keineswegs zusammenhängen.

Literatur

Andrée, K., Über Sedimentbildung am Meeresboden 1. Fortsetzung. Sonderabdr. a. Geolog. Rundsch., B. VII, Heft 3/4, Leipzig 1916, S. 123. — Beck, R., Über Litoralbildungen in der sächsischen Kreideformation. Berichte d. Naturforsch. Gesellsch. zu Leipzig, Jahrg. 1895/96. — Brandes, Th., Die faziellen Verhältnisse des Lias zwischen Harz und Egge-Gebirge mit einer Revision seiner Gliederung. Ein Beitrag zur Paläogeographie und Meereskunde der Vorzeit. 1911, Göttingen. — Cayeux, L., Contribution à L'Etude micrographique des Terrains Sédimentaires. Lille 1897. — Colombo, A., La Fauna Sottomarina del Golfo di Napoli. Estratto dalla Rivista Marittima, 1887 (1888). — Deecke, W., Faciesstudien über europäische Sedimente. Ber. d. Naturforsch. Gesellsch. z. Freiburg i. B. Bd. XX, 1913. — Forbes, E., Ann. and Mag. Nat. Hist. 1840, S. 217. — Forbes, E., Rep. Brit. Assoc. Adv. Sc., London 1844, S. 176. —

Grabau, A. W., The Relation of Marine Bionomie to Stratigraphy. Chapt. III in Geology and Palaeontologie of Eighen-mile Creek. Bull. of the Buff. Soc. of Nat. Sciences. Bd. VI, S. 319–365. 1899. — Grabau, A. W. and Shimer, H. W., Summary of North American Stratigraphy. North Am. Index Fossils, Bd. II, S. 604—663. A. G. Seiler u. Co., New York. — Gressly, A., Observations Geologiques sur le Jura Soleurois. — Gürich, G., Das Palaeozoicum im Polnischen Mittelgebirge. 1896. — Hahn, F. Felix, Dyctionema Fauna of Navy Island. New Brunswick. New York Ad of Science, Annals. Bd. XXII, S. 135—160. 1912. — Heim, A., Gliederung und Facies der Berrias-Valangien-Sedimente in den helvetischen Alpen. Vierteljahrsschr. d. Naturf. Gesellsch in Zürich. Jahrg. 52, 1907. — Heim, A., Über die Stratigraphie der autochthonen Kreide und des Eocäns am Kistenpass, verglichen mit der Facies der helvetischen Decken. Beitr. zur geolog. Karte der Schweiz, neue Folge, 24. Lieferung, 1910. — Hjort, J., Hydrographic Biological Studies of the Norwegian Fisheries. Videnskabsselskabets Skrifter 1895, No. 9, Christiania 1896 — Koenen, A. v., Die Ammonitiden des norddeutschen Neocom. Abhandl. d. preuß. geol. Landesanstalt, 24, 1902. — Lang, R., Das Vindelizische Gebirge zur mittleren Keuperzeit. Ein Beitrag zur Paläogeographie Süddeutschlands. Jahrb. d. Vereins. f. Vaterl. Naturk. in Württemberg. Jahrg. 1911, Bd. 67, S. 218—259. — Meyer, H. L. F., Paläogeographische Bemerkungen. Niederrh. geolog. Verein, 1913, 2. H., S. 92—96, 1914. — Mojsisovics, E., von Mojsvar, Die Dolomit-Riffe von Südtirol und Venetien. Beiträge zur Bildungsgeschichte der Alpen. Wien 1879. — Petrascheck, W., Studien über Faciesbildungen im Gebiete der sächsischen Kreideformation. Dresden 1899. — Scupin, H., Die Löwenberger Kreide und ihre Fauna. Palaeontographica Stuttgart 1913. — Smith, James Perrin, Principles of Palaeontologic Correlation. Journal of Geol., Bd. VIII, S. 673–697. 1900. — Sunner, F. B, Osbum, R. C. and Cole, L. J, Biolog. Survey of the Waters of Woods Hole and Vicinity. Bull. of the Bureau of the Fisheries. Part I. Vol. XXXI, 1911 (1913). — Stuchlik, H., Die Faciesentwicklung der südbayrischen Oligocänmolasse. Geol. Reichsanstalt 1906, Bd. 56, 2. Heft, S. 277. — Thoulet, M. J., Etude Bathylithologique des Cotes du Golfe du Lion. Paris 1912. — Walther, J., Die geogr. Verbr. d. Foraminiferen. Mitth. d. geol. Station Neapel, 1888, VIII, S. 377. — Walther, J., Die Sedimente der Taubenbank im Golfe von Neapel. 1910. Abh. d. K. Pr. Akad. d. Wissenschaften. — Walther, J., Die Adamsbrücke und die Korallenriffe der Palkstraße. 1891. Petermanns Geogr. Mitt., Erg.-Heft, Nr. 102. — Wegner, Th. H., Zur Faciesbildung des Westfälischen Untersenon. Monatsber. d. Deutsch. geol. Gesellsch. Bd. 62, Jahrg. 1910, No. 5/6, S. 429. — Willis, Bailey, Individuals of Stratigraphic Classification. Journ. of Geol., Bd. IX, S. 557—569. 1901. — Wiman, C., Kambrisch-silurische Faciesbildungen in Jemtland. Bull. of the Geol. Inst. of Upsala, No. 5, Vol. III, 1896, S. 269.

9. Die Leitfossilien

Erfahrungsgemäß bilden sich die meisten Gesteine nicht allein, sondern im Verband mit anderen, unter ähnlichen Bildungsbedingungen entstehenden Nachbargesteinen, die seitlich aneinander oder übereinander gelagert als verschiedene „Fazies“ unterschieden werden. Im einzelnen Aufschluß kann mann dann oftmals ein Hauptgestein von den nur untergeordnet vorkommenden Nebengesteinen unterscheiden und die verschiedenen Arten der letzteren als das Gesteinsgefolge bezeichnen.

Das Hauptgestein ist nicht immer das in größter Masse gebildete, sondern oft nur das, wegen seiner Widerstandsfähigkeit gegen Lösung

und Abtragung, besser erhaltene — aber in beiden Fällen wird es zum Charaktergestein des betreffenden Faziesgebietes.

Unter den eingelagerten Magmagesteinen tritt uns oftmals der Granit als leitendes Hauptgestein entgegen, während Aplit, Pegmatit und Lamprophyre usw. ihn als Ganggefolge begleiten.

Unter den aufgelagerten Trümmergesteinen kann man vielfach den Sandstein als Hauptgestein bezeichnen, dem als Schichtgefolge Letten und Konglomerate oder Dolomit und Gips sich unterordnen. Die ungeschichteten fossilleeren Massenkalke sind mit geschichteten Kalkeinlagerungen, fossilreichen Kalknestern oder tonigen Zwischenschichten eng verknüpft und mit den harten Ergußgesteinen vulkanischer Decken sehen wir lockere Tuffe und feinkörnige Aschengesteine vielfach wechsellagernd. Die ungeheure Mannigfaltigkeit dieser Faziesnachbarn werden wir später noch eingehend besprechen.

Aus ihrer genetischen Verknüpfung ergibt sich, daß sie sich nicht nur im fortlaufenden Profil überlagern, sondern zugleich in benachbarten Schichtenfolgen vertreten, daß also vielleicht im einen Aufschluß Sandstein oder Granit als Leitgestein vorherrscht, während in einem gleichzeitig entstandenen anderen Profil als Vertreter des Schichtgefolges eine Konglomeratmasse oder als Glied des Ganggefolges eine Aplitmasse das Hauptgestein bildet.

So ergibt sich für den Geologen die doppelte Aufgabe: die im fortlaufenden Profil übereinander sich überlagernden Gesteine als zeitlich verschiedene Bildungen zu trennen und die in verschiedenen Profilen nahe oder fern voneinander vorherrschenden Gesteine zu vergleichen.

Obwohl die Gliederung der sich überlagernden Gesteine und ihre Eingleichung in anderer Schichtenfolge den Hauptinhalt der geologisch-paläontologischen Literatur bildet, herrscht doch über die Bedeutung der hierbei angewandten Ausdrücke, wie Schicht, Stufe, Etage, Glied, Bank, Horizont, eine ganz auffallende Unsicherheit. Kaum zwei Autoren verwenden sie in demselben Sinne. Trotzdem eine reiche Auswahl ganz verschiedener Worte zur Verfügung stehen und sachlich ganz verschieden Dinge mit ihnen bezeichnet und unterschieden werden müssen, geben doch selbst unsere maßgebenden Lehrbücher keine schärfere Definition derselben.

Ich möchte im folgenden, unter Hervorhebung des wörtlichen Sinnes der so oft ohne Folgerichtigkeit angewandten Ausdrücke, die Begriffe etwas genauer umgrenzen.

Da die meisten genetisch verschiedenen Gesteine seit den Tagen ihrer Entstehung verschiedene Eigenschaften besitzen und den verwitternden Kräften gegenüber verschieden widerstandsfähig sind, treten sie an den Abhängen der Berge und den Wänden der Täler als deutliche oder angedeutete Geländestufen hervor und wir ersteigen den Abhang, indem

wir Stufe für Stufe überschreiten. Ich glaube daher, daß wir zweckmäßig das Wort Stufe auf die lithologischen Unterschiede der sich überlagernden Gesteine beschränken sollen.

Tritt aus einer, im ganzen gleichartig gebildeten, Schichtenreihe eine einzelne härtere Schicht kennbar hervor, indem sie einen „Ruhepunkt“ in der gleichmäßig fortlaufenden Gesteinsreihe bildet, dann bezeichnet man sie als Bank.

Bei der Einteilung einer fortlaufenden Gesteinsreihe in einzelne Stufen spielt deren Mächtigkeit keine Rolle; man kann eine liegende Stufe von 100 m Mächtigkeit von einer hangenden Stufe von nur 1 m deutlich abtrennen, wenn nur das darin auftretende Gestein als eine lithologisch einheitliche Bildung zu unterscheiden ist.

Auch der Fossilgehalt ist ohne Bedeutung für das Wesen einer Stufe; denn wir unterscheiden eine Basaltdecke, eine Konglomeratbank, eine Gipsmasse oder einen dichten Massenkalk ebenso als topographisch bemerkbare und das Profil zusammensetzende Stufe, wie eine fossilreiche Kalkplatte oder Schiefereinlagerung.

Wenn wir die im fortlaufenden Profil sich überlagernden Stufen verschiedener Gesteine ausgeschieden haben, beginnt der zweite und wichtigere Abschnitt der geologischen Arbeit, indem wir die fossilen Einschlüsse der Gesteine sammeln, um die Lebewelt der zeitlich nacheinandergebildeten Stufen kennen zu lernen.

Wir unterscheiden fossilleere und fossilführende Stufen und wie wir leitende Hauptgesteine von dem untergeordneten Schichtgefolge trennten, so unterscheiden wir solche Fossilien, die nur in einer einzelnen Stufe auftreten von den durch mehrere Stufen hindurchgehenden Arten. Fossile Einschlüsse, die nur in einer Stufe auftreten, und uns erlauben dieselbe sofort wiederzuerkennen, nennen wir Gliederungsfossilien, und die durch solche gekennzeichneten Stufen bezeichnen wir als Glieder.

Es gibt also Stufen, die sich nicht durch Fossilien bestimmen lassen (wie viele fossilleere Massenkalke, Sandsteine, Gipse, vulkanische Decken oder kristallinische Grundgesteine), während sich bisweilen innerhalb einer Stufe mehrere Glieder paläontologisch unterscheiden lassen, wie dies v. Koenen, Steuer und Stolberg in den norddeutschen Kreidetonen durchgeführt haben.

Das Glied ist also im Gegensatz zur Stufe eine paläontologische Unterscheidung und die Gliederungsfossilien sind zunächst nür für die vertikal übereinander gelagerten Stufen eines natürlichen Profils charakteristisch.

Obwohl die Gesteine vieler Stufen in lebensfeindlichen Räumen abgelagert oder später fossilleer geworden sind, so finden sich doch zwischen ihnen meist dünne oder mächtige Zwischenschichten, deren Fossilgehalt ihnen, selbst wenn sie nur schwache Bänke innerhalb einer

sonst versteinerungsleeren Schichtenfolge bilden, eine besonder Bedeutung verleiht.

Oft besteht ein Glied nicht aus einem einzigen Gestein, sondern aus mehreren durch Wechsellagerung oder regelmäßige Einschaltung mit einander verbundenen Felsarten. Besonders Tongsteine von allerlei Farbe und Gewebe, oft auch noch nachträglich chemisch verändert, treten innerhalb eines leitenden Gliedes auf, ohne daß dadurch die Einheitlichkeit seiner Bildung wesentlich vermindert würde. Solange hierbei keine Änderung des Fossilgehalts eintritt, wird der kartierende Geologe die Bildung mit einer Farbe bezeichnen und einem Wort benennen.

Wir haben die biologische Bedeutung der Gliederungsfossilien noch eingehend zu besprechen und wollen hier nur vorausgreifen, daß ihr Auftreten oder Verschwinden innerhalb der fortlaufenden Stufenreihe meist mit tiergeographischen Wanderungen und Verlagerungen der Fazies, nicht aber mit einer Umwandlung der Arten in ursächlicher Beziehung steht.

Einen ganz anderen Weg der Untersuchung schlagen wir ein, wenn wir die in einzelne lithologische Stufen und paläontologische Glieder gesonderte Schichtenfolge der einen Gegend mit einer entlegenen Schichtenreihe vergleichen. In der Regel finden wir zunächst andere Hauptgesteine in anderer Mächtigkeit übereinander gelagert, obwohl vielleicht das Gesamtprofil dieselbe Mächtigkeit besitzt. Dann verschwinden viele Fossilien, die es uns ermöglichten, das erste Normalprofil zu gliedern, und andere fossile Arten, die dort nur selten waren, werden jetzt so häufig und bezeichnend, daß sie als Gliederungsfossilien verwendet werden müssen und können. Vikariierende Arten treten als Ersatz auf und ein dort durch deutliche Fossilien bestimmbares Glied erscheint hier als fossilleere Stufe.

Die seitliche Einordnung und Vergleichung der getrennten Schichtenfolgen kann also nicht an der Hand der Gesteine durchgeführt werden und auch ein Teil der Gliederungsfossilien hält nicht aus. Dagegen hatten andere Lebewesen eine so weite horizontale Verbreitung oder ihre Reste wurden nach dem Tode über eine so weite Fläche ausgestreut, daß sie uns ermöglichen, entfernte Schichtenreihen miteinander zu vergleichen — wir nennen sie Leitfossilien.

Zwei durch dieselben Leitfossilien bezeichnete Glieder nennen wir äquivalent oder gleichalterig. Aber da es sich in vielen Fällen um das Auftreten von Pflanzen- und Tierresten handelt, welche innerhalb eines längeren Zeitraumes lebten, als sie in der einzelnen Stufe gefunden werden, und da viele Arten während des Lebens ihre Wohnorte veränderten, kann die Äquivalenz der Glieder zunächst nur auf relativer Gleichalterigkeit beruhen.

(Neuerdings hat man in der amerikanischen Literatur für Äquivalenz die Bezeichnung „Korrelation" eingeführt; obwohl dieses Wort

seit CUVIER: gegenseitige ursächliche Abhängigkeit bedeutet, und also nicht mit Gleichalterigkeit übersetzt werden kann.)

Eine Stufe, innerhalb deren sich an verschiedenen Fundorten dieselbe leitende Art findet, nennen wir ein Band oder eine Zone.

Der Fall ist nicht selten, daß die für eine bestimmte Stufe leitende Art in der äquivalenten Stufe überhaupt nicht beobachtet wurde, weil sie dort durch andere Arten vertreten wird oder sogar die betreffende Stufe überhaupt fossilleer ist. Man pflegt auch solche Stufen einzugliedern und mit dem Namen eines bestimmten Leitfossils zu bezeichnen, wenn dieses auch nicht daraus bekannt ist.

Aber damit ist eine große Unsicherheit in die biologische Analyse der Artenfolge gekommen. Denn wenn auch bisweilen in einem vorher für fossilarm gehaltenen Gestein später fossilführende Nester oder Zwischenschichten entdeckt wurden, so ist damit noch nicht bewiesen, daß in jedem als äquivalent erkannten Gestein notwendig auch dieselben leitenden Arten enthalten waren. Nur wenn wir die Schichtenglieder mit dem ihnen eigenen wirklich nachgewiesenen Fossilgehalt im Profil einreihen, können wir erkennen, welche geographische Verbreitung das eine oder andere Leitfossil hatte. Sobald wir aber den Namen eines Leitfossils als abstrakte Bezeichnung für eine Zone anwenden, in welcher das betreffende Fossil noch nicht beobachtet ist, verlassen wir den Boden strenger Beobachtung. Wenn man die Kulmschiefer des Frankenwaldes als „Zone der Posidonomya Becheri“ ausscheidet, obwohl diese Form dort völlig fehlt, wenn man in den Alpen ammonitenfreie Kalke als Vertreter einer Zone des Trachyceras aon bezeichnet, in der diese Art nie beobachtet wurde, so gewinnt man zwar ein scheinbar allgemeingültiges Schema, gerät aber auf diesem Wege in ein System von Zirkelschlüssen.

Die Arbeit der systematischen Geologie (Stratigraphie, Bathrologie oder Formationslehre) beruht auf einigen Sätzen, deren Fehlerquellen eine kritische Betrachtung verlangen.

Zwei Stufen, welche dieselben leitenden Arten enthalten, sind gleichalterig. Dieser Grundsatz scheint keinem Zweifel Raum zu geben, und doch bewohnt die Fauna und Flora der Gegenwart ausnahmslos besondere Standorte, jenseits deren Grenzen gleichzeitig ganz verschiedene Arten, Gattungen und Familien leben. Kein festländisches oder marines Tier belebt die ganze Erde. Jede Art wird langsam oder rasch durch andere Arten ersetzt.

Es ist merkwürdig, daß diese, jedem Naturforscher geläufige, Tatsache in der Stratigraphie so wenig berücksichtigt wird und daß man überall bestrebt ist, mit Hilfe einzelner Arten die Gleichzeitigkeit oder das verschiedene Alter zweier Schichtenglieder zu bestimmen. Selbst wenn zwei Arten in einem Aufschluß übereinander auftreten, können sie gleichalterig sein und besonders an den Grenzen ihres Lebensraumes

wird es häufig vorkommen, daß die Form A nur im Liegenden, B aber im Hangenden auftritt, obwohl beide an einer anderen Stelle gleichzeitig gelebt haben.

Obwohl wir also wissen, daß sich in der rezenten Gegenwart überall *verschiedene Arten derselben Gattung in benachbarten tiergeographischen Regionen vertreten*, fordern wir von den gleichzeitig gebildeten marinen Ablagerungen der Vorzeit, daß darin überall dieselbe Art beobachtet werde.

Daher wird der in zahlreichen Fällen ganz unbedenkliche Grundsatz: *gleichalterige Stufen enthalten dieselben Arten* zu einem Irrtum, wenn man ihn so formuliert: *alle gleichalterigen Stufen müssen dieselben Arten enthalten, und wenn eine leitende Art fehlt, dann sind die Stufen von verschiedenem Alter.* Wenn die Fauna von Mauer mit derjenigen von Mosbach fast alle Wirbeltiere gemeinsam hat, aber Equus Stenonis und Hippopotamus bei Mauer fehlen, so liegt nicht der geringste Grund vor, deshalb ein verschiedenes Alter für beide Fundorte anzunehmen; denn die Gazellen der Wüste kommen nicht nach den Ufern des Nil, und das Nilpferd wird nicht die schlammigen Flußniederungen verlassen, um eine entfernte Wüstenquelle aufzusuchen.

Viel mannigfaltiger sind aber die Bedingungen der marinen Lebewelt, und insofern es sich um die Verbreitung einzelner Arten handelt, führt jede schematische Anwendung des oben formulierten Satzes zu unlöslichen Widersprüchen.

Die meisten am Boden lebenden Organismen sind Faziesbewohner und ihre erhaltungsfähigen Reste werden als Faziesfossilien in die sie umhüllenden Faziesgesteine eingeschlossen. Die Verbreitung der Fazies erklärt uns nicht allein das Neuauftreten, sondern ebenso die geographische Verbreitung der Fossilien in geschlossenen oder zerstreuten Gebieten, und jeder sammelnde Geologe wird immer wieder auf die Beziehungen hingewiesen, die zwischen Gestein und Fossilgehalt bestehen.

Auch hierfür geben meine Untersuchungen über die Verbreitung der Fauna im Golfe von Neapel lehrreiche rezente Beispiele: Inselartig erhebt sich über der 85 m tiefen Schlammebene bis zu 45 m eine zweigipfelige, etwa 2 km lange Vulkanruine, bedeckt mit vulkanischem Sand, organischem Muschelsand, Kalkalgenkolonien und vereinzelten Bryozoenrasen. Diese hier neugebildeten Kalkablagerungen bieten der Fauna klares lichtreiches Wasser, festen Untergrund und reiche Nahrung. 360 Tierarten leben nur hier und von den 186 Fischarten des Golfes werden 48 Arten vorwiegend auf der Taubenbank gefangen. Wenn man aus diesen Faunenlisten die Formen mit festen Hartgebilden herausgreift, die als künftige Fossilien in Frage kommen, so sind von 500 nahe beieinanderlebenden Formen nur 14 Arten beiden Faziesgebieten gemeinsam.

Alle übrigen kommen als Leitfossilien trotz der großen räumlichen Nähe nicht in Frage.

Jede Veränderung der Fazies ändert auch die Verteilung der dort lebenden Organismen und so wird also die seitliche Verbreitung eines Leitfossils zunächst abhängig sein von der Größe des betreffenden Faziesgebietes. Finden sich jenseits dessen Grenzen noch Faziesinseln derselben Art, so werden die schwebenden Larven auch sie besiedeln, und so kann dieselbe leitende Fauna oft in weiter Entfernung erneut auftreten, selbst wenn dazwischen eine andere Fazies mit anderen Arten eingeschaltet ist.

Aber während die lebenden Formen in ihrer Verteilung durch die Faziesgrenzen bestimmt werden, gilt dies nicht notwendig für alle Reste absterbender Tiere. Jeder Lebensraum ist umgeben von einer schmalen oder breiten Zone, über welche auch tote Schalen und einzelne Hartgebilde verstreut werden, und dieser Verbreitungsraum deckt sich mit dem Fundbereich eines Fossils. Die Verbreitungsgrenze wird sich von der Lebensgrenze um so mehr entfernen, je leichter ein Schalenrest passiv weiter wandern kann. Die Kraft und Richtung der Wasser- und Luftströmungen, welche solche Reste verlagern, spielt hierbei ebenfalls eine wichtige Rolle Wir werden Gelegenheit haben, noch eingehend zu begründen, weshalb erfahrungsgemäß im Silur die Graptolithen, im Karbon die Fusuliniden und die Productiden, von Devon bis zur Kreide die gekammerten Cephalopodenschalen und im unteren Tertiär die Nummulitiden eine so große Rolle als Leitfossilien spielen. Ihnen gegenüber ist die horizontale Verbreitung von Fossilien aus anderen Tiergruppen so beschränkt, daß es an zufälligen Umständen liegt, wenn eine Koralle, Muschel oder Schnecke über eine große Fläche als Leitfossil verfolgt werden kann.

Jeder, der sich mit der Verbreitung der heutigen Meeresfaunen oder der am Ufer ausgeworfenen Reste beschäftigt hat, oder mit dem Schleppnetz die Zusammensetzung der Lebensgenossen eines Bezirkes untersucht hat, der weiß, wie rasch sich die Verbreitungsgrenzen der gleichzeitig lebenden Tiere ändern.

Polystomella crispa gehörte 1885 zu den häufigsten Bestandteilen der mit organischem Kalksand bedeckten Gebiete der Taubenbank im Golf von Neapel; Caryophyllia fand ich damals nur in der umgebenden Schlammregion auf Steinchen, Schlacken und Dentalium häufig.

Als ich nach 25 Jahren dasselbe Meeresgebiet erneut wochenlang studierte, waren weite Flächen mit Kalkalgen überwachsen, zwischen denen ich selbst mit Hilfe des Schleppnetzes die Polystomella nicht wiederfand. Dagegen fand ich Caryophyllia bei mehreren Dredgezügen zu Dutzenden auf Lithothamniumknollen aufgewachsen und die kleinen

Korallen waren so lebenskräftig, daß ich sie wochenlang in meinen Aquarien beobachten konnte.

Das Fehlen einer Art oder ihr sporadisches Auftreten kann also nicht zur Grundlage weittragender stratigraphischer Schlüsse gemacht werden.

Die Fälle, in denen einzelne Reste außerhalb ihres ehemaligen Lebensraumes angetroffen werden, sind für den chronologisch gliedernden Geologen von so großer Bedeutung und im Laufe der Erdgeschichte verhältnismäßig so oft eingetreten, daß wir sie in ihrer Eigenart biologisch erkennen und nicht losgelöst aus ihrem natürlichen lithologischen Zusammenhang betrachten dürfen.

Die Stratigraphie hat diesen Bedenken zwar dadurch Rechnung getragen, daß sie ihre Schlüsse nicht mehr auf dem Vorhandensein oder Fehlen einer einzigen Art aufbaut, sondern mehrere Artengenossen als Lebensgemeinschaft betrachtet und durch die verschiedenen Profile verfolgt. Je größer die Zahl der mit einer Leitform zusammen vorkommenden Genossen ist, desto sicherer scheint die chronologische Bestimmung.

Aber auch hier kann eine bloß zahlenmäßige Betrachtung des Faunenbestandes leicht zu Trugschlüssen führen; denn die Zusammensetzung eines Leichenfeldes kann örtlich sehr abweichen von der Artverteilung in dem entsprechenden Lebensraum.

Auf irrigen biologischen Voraussetzungen beruht es daher, wenn man den Faunengehalt zweier verschiedener Glieder nach Prozenten vergleicht, und auf rechnerischem Wege die mehr oder weniger große Gleichzeitigkeit zweier Ablagerungen festzustellen sucht. Die besprochene Fauna der Taubenbank, die wir oben behandelten, ist nur ein Beispiel für die jedem Tiergeographen und selbst jedem Lokalsammler wohlbekannte Erfahrung, daß die meisten Pflanzen und Tiere, selbst wenn sie sich durch bewegliche Samen fortpflanzen oder frei von einem Ort zum andern wechseln können, doch bestimmte Standorte und Lebensbezirke bewohnen, und daß sie mit wechselnden, bionomischen Umständen auch ihre Verbreitung automatisch ändern. Ob 30 oder 60% von Arten zwei benachbarten oder entfernten Lebensbezirken gemeinsam sind, hängt von so vielen Umständen ab, daß man darauf eine geologische Altersbestimmung zweier verschiedener Faunen nicht gründen kann.

Von großem Einfluß auf jede stratigraphische Trennung oder Verknüpfung benachbarter und entlegener Schichtenglieder wird endlich der Artbegriff: Denn jede Art hat eine gewisse Variationsbreite, innerhalb deren der eine Autor nur einen Namen anwendet, während ein anderer Paläontologe den Formenkreis durch mehrere Artnamen zerlegt. Solange man die Arten weiter faßte, erschienen viele Glieder als äquivalent, die man heute, bei engerer Fassung der Artgrenzen, als verschiedenalterig bezeichnet.

Die paläontologische Literatur ist reich an Beispielen dafür, daß mit der Zerlegung einer Art in mehrere Unterarten oder einer Gattung in verschiedene Arten auch frühere Gliederungen unrichtig wurden.

Wenn man auf diesem Wege der Artzerlegung immer weiter geht und jede durch eine andere Unterart ausgezeichnete Schicht als verschieden alt bezeichnet, dann wächst zwar die Gesamtmächtigkeit des Schichtenstoßes — aber ebenso die Gefahr, daß unsere Wissenschaft zu unwahrscheinlichen Annahmen komme.

Eine letzte Schwierigkeit beruht darin, daß die Mächtigkeit der als äquivalent erkannten Zonen großem Wechsel unterliegt. Eine leitende Art tritt in dem einen Profil früher auf, wie in einem entfernteren Aufschluß, oder lebte hier noch, wenn sie dort schon verschwunden ist. Soll man eine nur 5 m mächtige Stufe als zeitliches Äquivalent für eine 50 m mächtige andere Schichtenreihe betrachten, nur weil darin dieselbe Art gleichmäßig verteilt ist?

So drängen uns zahlreiche Gedankenreihen und Tatsachen der rezenten Biologie zu der Erkenntnis, daß eine chronologische Ordnung der fossilführenden Schichten allein auf Grund der aus ihrer Umgebung herausgenommenen fossilen Einschlüsse niemals zu einwurfsfreien Ergebnissen führt.

Nur wenn wir die Fossilien als Einschlüsse in den Gesteinen betrachten, wenn wir sie in ihrem natürlichen Verband mit Sediment und Lebensgenossen untersuchen, wenn wir ihre Lagerung, ihre Einordnung und neben der systematischen Bestimmung auch ihre bionomische Bedeutung berücksichtigen, kommen wir aus den Zirkelschlüssen heraus, zu denen eine einseitig morphologische Auffassung notwendig führt.

Ein Problem von großer Bedeutung knüpft sich an die Frage, ob man neben der relativen Äquivalenz der Schichten auch eine wirkliche absolute Gleichalterigkeit bestimmter geologischer Bildungen feststellen kann.

Eine solche allgemeine Erscheinung würde, wenn sie in vielen gleichzeitig entstandenen Schichtenfolgen nachgewiesen werden könnte, das Zeichen einer Zeitwende sein, die, wie die Grenzlinie zwischen Himmel und Erde, folgerecht als ein Horizont zu bezeichnen wäre.

Ein solcher isochroner Horizont kann entweder auf der Lagerung der Gesteine, ihrem lithologischen Charakter oder ihrem Fossilgehalt beruhen.

Tektonische Vorgänge von weltweiter Verbreitung kennen wir nicht. Suess hatte zunächt die Faltung in Mitteleuropa als mittelkarbonisch bezeichnet, und manche Tektoniker haben diese Annahme dogmatisch überall durchzuführen gesucht. Aber Zimmermann erkannte, daß die Sudeten schon am Schluß der Oberdevonzeit gefaltet wurden. Krusch

bewies, daß der Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges während der Unterpermzeit in Sättel und Mulden zerlegt wurde, während v. FRITSCH und BEYSCHLAG zeigten, daß die Hallesche Mulde erst am Schluß des Unterrotliegenden gefaltet wurde. So ergab sich, daß die varistische Störungszeit einen viel längeren Zeitraum umfaßt, als SUESS zunächst annahm.

Zu ganz ähnlichen Ergebnissen kam STILLE beim Studium der Lagerung der westfälischen Schichtenreihe, die man früher für ein tertiäres Störungsgebiet hielt, während sich die kimmerische Faltung schon am Ende der Triaszeit bemerkbar macht.

Daraus ergibt sich, daß auch das Alter einer Diskordanz nicht überall gleichzeitig sein kann und diese weder als Formationsgrenze noch als einheitlicher Horizont eingeordnet werden darf.

Größere Wahrscheinlichkeit hat die Annahme, daß tiefgreifende Verwitterungsdecken über weite Flächen gleichzeitig gebildet wurden und mithin als „Horizont" dienen können. Die in den heutigen Tropen so weitverbreiteten diluvialen Laterite sind ebenso geeignet, um prädiluviale von postdiluvialen Vulkanen, Riffen, Dünen scharf zu sondern, wie ähnliche ältere Verwitterungsdecken.

Jedem Geologen sind von seinem engeren oder weiteren Arbeitsgebiet Gesteine bekannt, die eine große horizontale und verhältnismäßig geringe vertikale Verbreitung besitzen, deren absolute Gleichalterigkeit keinem Zweifel unterliegt, die also als Leitgesteine verwendet werden können. Die Decke eines Geschiebemergels, der Grenzdolomit im Keuper, die Terebratelbänke im Muschelkalk, der Kupferschiefer mögen als Beispiele solcher lithologischer Horizonte dienen.

Eigenartige Vorstellungen über die Bewegungen der Meere und ihrer Lebewelt haben zu der Ansicht geführt, daß die horizontale und vertikale Verteilung der leitenden Fossilien durch sogenannte Transgressionen bedingt sei. Man versteht darunter die Verlagerung einer Art oder einer Fauna von einem begrenzten Lebensraum nach einem anderen Verbreitungsgebiet.

Über die Auffassung, ob eine Transgression gleichzeitig erfolgt (also einem gleichzeitigen Horizont in unserem Sinne entspräche) oder schrittweise im Laufe längerer Zeiträume eingetreten sei (also nur eine relative Altersbestimmung erlaube) herrscht keine Übereinstimmung. Das Prinzip der Transgressionen enthält zudem so verschiedenartige Hypothesen, daß wir in einem späteren Abschnitt alle damit zusammenhängenden Fragen behandeln werden.

Aber die meisten Horizonte werden auf paläontologischen, also auf Tatsachen der Pflanzen- oder Tiergeographie begründet, und hierbei spielt das Auftreten neuer Arten oder Faunen im fortlaufenden Profil eine wichtige Rolle. Dasselbe kann ganz verschiedene Ursachen haben:

1. In einer bodenständigen Fauna entsteht eine neue Art und löst die älteren Vorfahren ab. Wir müssen in diesem Fall dieselbe Gattung in der liegenden Stufe nachweisen und ihre Form aus vergleichend-anatomischen Gründen ungezwungen in die neue Art überleiten können.

2. kann eine vorher schon bodenständig bestehende Form während der Einbettung des Gesteins zerbrochen, zerstört oder unkenntlich gemacht worden sein, so daß das neue Auftreten eine Frage der geologischen Erhaltung ist.

3. kann die neue Art in einem benachbarten Lebensbezirk gelebt haben und ihre Hartgebilde sind über ihren Lebensraum hinaus passiv verbreitet worden. Wir werden die Verbreitungsmöglichkeit aus dem Bau des fossilen Restes oder seiner Abnutzung erschließen können.

4. kann das Neuauftreten der leitenden Art auf einer tiergeographischen Wanderung beruhen, so daß sich eine bodenfremde Art in der örtlichen Schichtenfolge neu angesiedelt hat.

Betrachten wir von diesem Standpunkt aus die Leitfossilien des mitteldeutschen Röt, so sehen wir in der Oberzone des mittleren Buntsandsteins Estheria minuta als leitende Art. Es handelt sich um die kleinen Schälchen eines Krebses, die mitten zwischen Sanddünen in vergänglichen Seen lebten, deren Keime durch den Wind verfrachtet wurden und die ebenso leicht verbreitet, wie vernichtet werden können.

Über dem fossilleeren oberen Sandstein folgt der Chirotheriumsand, bezeichnet durch Fußabdrücke eines Dinosauriers, der in Rudeln durch den Rand der Sandwüste wanderte, und von dessen Vorfahren und Nachkommen wir keine Kenntnis haben.

Im Hangenden fossilleerer Gipse treten grüne Letten von etwa 16 m Mächtigkeit auf, in denen Passarge vier fossilreiche Zwischenschichten erkannte, ausgezeichnet durch Myophoria costata. Diese damals durch ganz Deutschland verbreitete kleine gerippte Muschel wanderte während eines langen Zeitraumes viermal nach Thüringen herein, während die nur für eine einzige Bank leitende Beneckeia tenuis nur einmal erscheint; ihre vielfach zerbrochenen Schalen sind örtlich so gehäuft, daß wir sie als passiv verfrachtet betrachten müssen.

Im mittleren Röt tritt Myophoria vulgaris zum erstenmal auf und findet sich bis in die Mitte des oberen Muschelkalkes, hat also während eines Zeitraumes gelebt, innerhalb dessen mehr als 150 m Ton- und Kalkschichten gebildet wurden. Hier haben wir eine neue Art des schon vorher in Thüringen lebenden Muschelgeschlechts, aber es dürfte einem Systematiker schwer fallen, die kleine gerippte Costata als direkten Ahnen der Vulgaris anzusehen. Sie gehören zu grundverschiedenen Formenkreisen und nicht eine einzige vermittelnde Form leitet von der einen zu der anderen Art hinüber.

Die leitenden Fossilien eines rund 270 m mächtigen Profils stammen also in diesen Fall aus ganz verschiedenen Tiergruppen, hatten eine grundverschiedene Lebensweise, zeigen weder andersgeartete Ahnen im Liegenden, noch Nachkommen im Hangenden und können nur durch einen grundsätzlichen Wechsel in den geologischen Lebensbedingungen, nicht durch einen Wandel in der Artbildung erklärt werden.

Als zweites Beispiel wählen wir die Leitfossilien des unteren Lias in Schwaben, einer etwa 60 m mächtigen, rein marinen Schichtenfolge. erfüllt mit zahllosen gleichzeitig lebenden Gattungen und Arten. In den sechs übereinanderfolgenden Stufen, die QUENSTEDTS scharfer Blick zuerst erkannte, und deren Berechtigung alle späteren Arbeiten nur bestätigt haben, sind unter der Fülle weniger regelmäßig verteilter Formen einige Ammonitenschalen zur Gliederung der Stufen und Vergleichung der Zonen von größter Wichtigkeit geworden. Es folgen aufeinander:

Psiloceras planorbis,
Schlotheimia angulata,
Arietites Bucklandi,
Arietites Turneri,
Oxynoticeras oxynotus,
Ophioceras raricostatus.

Die verschiedenen Gattungsnamen der in zahlreichen verwandten Arten bekannten Leitfossilien zeigen auf den ersten Blick, daß sich fünf dieser Formen nicht durch biologische Umbildung auseinander entwickeln konnten. Da im liegenden oberen Keuper die Ammoniten fehlen und nach Lage der Dinge nicht gelebt haben können, handelt es sich hier zweifellos um nacheinander eingedrungene Fremdlinge, deren Schalen entweder als passive Drift nach Schwaben getrieben wurden, oder tiergeographisch einwanderten.

An einem letzten Beispiel, das an das erstgenannte anknüpft, wollen wir die Myophorien der deutschen Trias betrachten.

Daß sich M. costata nicht in M. vulgaris entwickeln konnte, haben wir schon wahrscheinlich gemacht. Die mit M. vulgaris im Wellenkalk zusammen vorkommenden M. laevigata und M. ovata mögen als abgeänderte Arten innerhalb eines länger bestehenden Meeresbeckens betrachtet werden, aber schon M. elegans steht wieder abseits und deutet auf einen neuen Einwanderer.

Wenn wir aber dann im Grenzdolomit zahlreich M. Goldfußi finden, die nach dem Charakter des umhüllenden Dolomits wie ihrer Berippung als nahe Verwandte der M. costata betrachtet und von dieser hergeleitet werden darf, dann ergibt sich die überraschende Tatsache, daß diese wahrscheinlich verwandten Leitfossilien durch einen Schichtenstoß von über 200 m getrennt werden, innerhalb dessen Gesteinscharakter und zahllose Vertreter derselben Gattung auf ähnliche Lebens-

bedingungen schließen lassen, wo die Erhaltungsmöglichkeit für M.-schalen dauernd bestand, und dabei doch die phyletische Entwicklungsreihe völlig unterbrochen war.

Die betrachteten Beispiele zeigen uns also, daß die frühere Auffassung von einem sprunghaften Auftreten der Leitfossilien durchaus berechtigt war und daß wir dieses auch heute nicht durch die Umbildung bodenständiger Formenkreise erklären können.

Die Arten- und Individuenzahl, mit der eine neue Fauna oder Flora innerhalb einer Stufenfolge auftritt, regt ebenfalls mancherlei biologische Betrachtungen an.

Wenn einzelne Formen in einem ihnen vorher fremden Lebensraum erscheinen, so handelt es sich wohl in der Regel um das mehr oder weniger vereinzelte Neuauftreten eines einzelnen Faunenelements innerhalb einer Faunengenossenschaft.

Hierbei werden allgemeine bionomische Umstände nur eine untergeordnete Rolle spielen, während die gegenseitige Abhängigkeit der Lebensgenossen, die uns in einem späteren Abschnitt beschäftigen soll, große Wichtigkeit gewinnt.

Wenn dagegen ganz neue Formenkreise in den sich überlagernden Gliedern einer Schichtenreihe nacheinander auftreten, so dürften sie in der Regel an einen gleichzeitig auftretenden Gesteinswechsel gebunden sein. Mag der lithologische Unterschied eines hangenden Gesteins noch so gering sein und sich vielleicht nur in der Korngröße oder in tonigen Beimengungen äußern, so genügen doch solche geringfügige Änderungen in der Beschaffenheit des Standortes, um einen Teil der dort vorher angesiedelten Fauna zu vertreiben und neue Arten anzusiedeln.

Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse gewinnen solche Stufen, innerhalb deren die leitenden Arten mehrerer Zonen durcheinander gemischt vorkommen, eine ganz besondere Bedeutung. Sie können als das endemische Heimatgebiet der gleichalterigen Fauna betrachtet werden und müssen dann den Ausgangspunkt für die statigraphische Beurteilung der vereinzelten Arten bilden. In anderen Fällen mag umgekehrt geschlossen werden, daß Leitfossilien aus verschiedenen Faziesgebieten zusammengetrieben worden sind. Der biologisch denkende Geologe wird am Fundort leicht entscheiden können, welche von beiden Auffassungen im gegebenen Fall die richtigere ist.

Auch an das Verschwinden leitender Fossilien aus einer Stufe knüpfen sich zahlreiche biologische Fragen.

Man wird zunächst versucht sein, an ein Aussterben der betreffenden Formen zu denken. Aber schon die Gleichzeitigkeit des Verschwindens von einer großen Fläche ist mit dieser Auffassung nicht vereinbar. Die Fossilien sind ja nicht durch katastrophale Ereignisse vernichtet worden, sondern eines natürlichen Todes gestorben, und wenn

neuauftretende ungünstige Verhältnisse auch zunächst die Fortpflanzungsfähigkeit verminderten und die Brut zerstörten, so konnten sie doch nicht die erwachsenen Exemplare schädigen. Nur wo ein Faunenelement nach dem Hangenden allmählich verschwindet und restlos in einzelnen Individuen ausstirbt, während seine Lebensgenossen weiterleben, wird man annehmen können, daß pathogene Einflüsse gewirkt haben.

Die Verbreitung der Terebratula vulgaris im Muschelkalk ist ein treffendes Beispiel für das wiederholte leitende Auftreten derselben Art in einem längeren Zeitraum. Zuerst mit der Varietät T. Ecki den bekannten Horizont bildend, dann 23 m höher in der Hauptterebratelbank so zahlreich und so weit verbreitet, verschwindet sie in den nächsten 80 m fast vollständig aus dem Profil und tritt dann im oberen Muschelkalk wieder ohne Formänderung auf. Ein solches Verhalten ist durch Aussterben nicht zu erklären und kann nur auf wiederholtes Einwandern aus dem (vielleicht alpinen) Heimatsgebiet, wo die Art auch in der Zwischenzeit lebte, zurückgeführt werden.

Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse bei Elephas primigenius, der mit E. trogontherii und E. indicus so nahe verknüpft ist, daß eine scharfe Sonderung dieser Unterarten unmöglich erscheint. Die Primigeniusgruppe erscheint vor dem Diluvium in Cromer und Valdarno; tritt dann mit E. antiquus zusammen oder für sich allein in verschiedenen Zonen des Diluviums auf, lebt am Ende der Diluvialzeit noch im östlichen Sibirien und Alaska und hat sich heute nur noch in der indischen Rasse erhalten. Hier kann die weite Veränderung und Gliederung des Lebensraumes nicht auf die passive Drift der Jugendformen zurückgeführt werden und doch können auch erwachsene Elephanten ihren Standort nicht beliebig wechseln. Sie werden bei ihren erdgeschichtlichen Wanderungen von der klimatisch bedingten Flora geleitet und nur ihre Isolierung in den Landgebieten, wo eine größere Zahl gestorben ist, mag mit Veränderungen der Küstenlinie und dem Versinken von Landbrücken zusammenhängen.

Wir müssen zugeben, daß das Verschwinden eines leitenden Fossils aus einer Schichtenreihe nicht nur mit dem Fazieswechsel oder einem wirklichen Aussterben zusammenhängen kann, sondern in manchen Fällen auch darauf beruhen mag, daß die Erhaltungsmöglichkeiten eines Restes der in dem umhüllenden Gestein bis dahin als erkennbares und bestimmbares Fossil eingebettet wurde, aufhörten. Aber in der Regel werden wir diese Annahme nur machen dürfen, wenn es sich um das nesterartige Neuauftreten und Verschwinden von Kalkresten in einer fortlaufenden Kalkmasse handelt. Sobald der Fossilgehalt mit dem Gestein verschwindet, wird eine solche Annahme nicht gelten können.

An der Spitze seines Lehrbuchs, das die Weltliteratur über die Verteilung der Leitfossilien in so übersichtlicher Weise zusammenfaßt,

sagt E. KAYSER: „Bis jetzt ist eine strenge paläontologische Zoneneinteilung nur für wenige Formationen, so besonders für den Jura und die Kreide aufgestellt worden. Das Streben der neueren Geologie geht indes dahin, eine ähnliche Gliederung auch für die übrigen Formationen durchzuführen.“ Angesichts der seit Jahrzehnten unternommenen zahllosen Versuche, die Zonen aller Schichtenfolgen mit Hilfe von einzelnen Leitfossilien nach einem einheitlichen Schema zu gliedern, erscheint uns dieses Bekenntnis ebenso wertvoll wie die Worte, die QUENSTEDT, der Begründer der schwäbischen Gliederung, bei Gelegenheit der Geologenversammlung zu Stuttgart i. J. 1883 sprach. Er führte aus, daß eine strenge Zonengliederung nur in einem geographisch engbegrenzten Gebiet durchzuführen sei, und daß eine Übertragung der „im Ländle“ sicher beobachteten Fossilfolgen selbst auf Bayern und Österreich kaum möglich sei. v. GÜMBEL und NEUMAYR, die vor dem Präzeptor Sueviae saßen, stimmten schweigend zu und alle fühlten, daß QUENSTEDT den wunden Punkt der Stratigraphie berührt hatte, die im engeren Heimatland treffende Darstellungsformen für die Schichtenfolge bietet, deren Fehlerquellen aber wachsen, je mehr sie die Grenzen des Faziesgebietes überschreitet.

Auf der Gliederung fortlaufender Aufschlüsse und der durch leitende Fossilien erkannten Äquivalenz der Stufen beruhen einige grundsätzlich wichtige Darstellungsweisen der geologischen Literatur, die wir in ihren wesentlichen Zielen kennzeichnen wollen:

1. Die Gesteinsfolge stellt durch Worte, eine schematisierte Zeichnung oder durch Überdruck auf einer photographischen Aufnahme die Mächtigkeit, Grenzen und Lagerungsbeziehungen der in einem Aufschluß beobachteten Hauptgesteine dar. Sie ist die Grundlage jeder weiteren Betrachtung und jeder vergleichenden oder zusammenfassenden Darstellung.

2. Die Stufenfolge ergänzt die Gesteinsfolge des einzelnen Aufschlusses nach dem Liegenden und Hangenden durch Übereinanderordnung aller in der betreffenden Gegend anstehend oder unterirdisch nachgewiesenen Hauptgesteine, stellt deren mittlere Mächtigkeit und Lagerungsbeziehungen dar und kennzeichnet die untere Grenze des bekannten Liegenden, die Lücken ebenso wie die Oberkante der Schichtenfolge. Seit langem haben besonders nordamerikanische Arbeiten solche Darstellungen veröffentlicht.

3. Die Gliederfolge berücksichtigt nur die durch bezeichnende Gliederungsfossilien bestimmbaren Gesteinslagen und ordnet liegende, eingelagerte oder hangende fossilleere Gesteine jenen ein. Dadurch tritt die Mächtigkeit der Glieder vollkommen zurück, während die beobachtete oder kombinierte Verteilung leitender Fossilien die Anordnung, Einteilung und Namengebung bestimmt.

4. Die vergleichende Zonentafel macht sich frei von der Mächtigkeit und dem örtlichen Fossilgehalt der verglichenen Stufenfolgen, und berücksichtigt nur solche leitende Arten, die in einem kurzen Zeitraum gelebt haben, selbst wenn sie nur auf einen engeren Lebensraum beschränkt waren. Sie benennt nach ihnen auch solche Glieder, in denen das betreffende Fossil nie gefunden worden ist, und gelangt auf diesem Wege zu einem abgerundeten Schema der Artenfolge

5. Die geologische Spezialkarte stellt die Hauptgesteine eines Gebiets in ihrer Projektion auf die Erdoberfläche dar, trennt die Trümmergesteine nach lithologischen Eigenschaften, ordnet sie aber nach paläontologischen Gesichtspunkten in größere Gruppen und scheidet innerhalb mächtiger fossilarmer Gesteine selbst schwache Einlagerungen als Bänder aus, sobald sie durch einen besonderen Fossilgehalt gekennzeichnet sind. Nur die Hauptgesteine werden ausgeschieden, während das Schichtgefolge zwar im Text behandelt, aber nicht in der Karte dargestellt wird. Die Magmagesteine werden nach petrographisch-chemischen Eigenschaften getrennt und chronologisch nach dem Fossilgehalt der sie unter- oder überlagernden Sedimente geordnet. Im Gegensatz zum Schichtgefolge wird das Ganggefolge meist sehr im Einzelnen dargestellt.

6. Die geologischen Übersichtskarten stellen, wie ein Blick auf die Legende zeigt, die am Aufbau der Erdrinde beteiligten Trümmergesteine nach ganz anderen Grundsätzen dar, wie die Magmagesteine und die kristallinen Schiefer. Die Trümmergesteine werden, ohne Rücksicht auf Gesteinscharakter und Mächtigkeit, rein stratigraphisch nach ihrem Gehalt an Leitfossilien getrennt und ausgeschieden. Es handelt sich also eigentlich um tiergeographische Darstellungen, auf denen die nacheinander lebenden marinen Faunen durch verschiedene Farben oder Farbentöne unterschieden werden.

Die eingelagerten Magmagesteine werden rein chemisch-petrographisch getrennt und ein präkambrischer Granit wird mit derselben Farbe wie ein karbonischer oder eocäner versehen.

Die kristallinen Schiefergesteine endlich werden entweder wie die Magmagesteine behandelt und ohne Rücksicht auf ihr geologisches Alter mit derselben Farbe bedruckt — oder man bezeichnet sie nach den leitenden Fossilien, die vor der Metamorphose darin enthalten gewesen sein sollen, und deutet durch Überdruck an, bis zu welcher petrographischen Phase kristalliner Umwandlung ihr Gewebe verändert wurde.

Literatur

Brögger, W. C., Über die Verbreitung der Euloma-Niobe-Fauna (der Ceratopygenkalkfauna) in Europa. Nyt Mag. for Naturvidensk. Bd. XXXV, S. 164—240. Christiania 1896. — Cremer, L., Über die fossilen Farne des Westfälischen Carbons und ihre Bedeutung für eine Gliederung des letzteren. Marburg 1893. — Diener, C., Zonen-

gliederung und Zeitmessung in der Erdgeschichte. Mitteil. d. Geolog. Gesellsch., Wien 1918, S. 126. — Donald, Proterozoic Gastropoda referred to Murchisonia and Pleurotomaria etc. Quart. Journ geol. Soc. Bd. 58 1902. — Grabau, A. W., Über die Einteilung des nordamerikanischen Silurs S. 979. Continental Formation in the North American Palaeozoic S. 997. Extrait du Compte Rendu du XI. Congrès Géologique International Stockholm 1912. — Grupe, O., Zur Gliederung des deutschen Buntsandsteins. Jahrb. d. Pr. Geol. Landesanst., Berlin 1912, Bd. XXXIII, Teil 1, Heft 3, S. 397. — Harbort, E., Über die Gliederung des Diluviums in Braunschweig. Jahrb. Pr. Geolog. Landesanst., Berlin 1914, Bd. XXXV, T. II, H. 2, S. 276. — Kayser, E., Über das Alter der Thüringer Tentaculiten- und Nereiten-Schichten. Zeitschr. d. D. geol. Gesellsch. 1894, H. 4, S. 823, Berlin 1895. — Koch, M., Überblick über die neueren Ergebnisse der geologischen Forschung im Unterharz. Zeitschr. d. Deutsch. geolog. Gesellsch., Jahrg. 1897, S. 7. — Lang, R., Der mittlere Keuper im südlichen Württemberg. Stuttgart 1909. Jahresver. f. vaterl. Naturkunde S. 77. — Marsh, O. C., Geological Horizons as determined by Vertebrate Fossils. Amer. Journal of Science, Vol. XLII, 1891. — Marr, J. E., On some well-defined Life-Zones in the Lower Part of the Silurian (Sedgwick) of the Lake-District. From the Quarterly Journal of the Geolog. Society 1878, S. 871. — Meyer, H. L. F., Die faunistische Gliederung des Zechsteins. Versamml. d. Niederrh. geolog. Vereins, Bonn 1914, S. 20—27. — Meyer, H. L. F., Die Gliederung des Zechsteins. Ber. d. Oberhess. Gesell. f. Nat. u. Heilk. z. Gießen, Neue Folge, Naturw. Abt., Bd. 6 (1914), S. 109—138. — Naumann, E., Zur Gliederung des Unteren Keupers in Thüringen. Jahrb. d. Pr. Geolog. Landesanst. Bd. XXXV, Teil 1, Heft 2, Berlin 1914, S. 292. — Neumayr, M., Über unvermittelt auftretende Cephalopodentypen. Jahrb. d. K. K. G. R. A. Wien 1878. — Pfeifer, W., Über den Gipskeuper im nordöstlichen Württemberg. Stuttgart 1915. — Pompecki, Zur Rassenpersistenz der Ammoniten. 3. Jahresber. der niedersächs. geol. Ver. 1910. — Riedel, A., Beiträge zur Gliederung der Triasformation in Braunschweig und angrenzenden Gebieten. Jahrb. des Prov.-Museums S. 92, Hannover 1911/12. — Salfeld, H., Die Gliederung des oberen Jura in Nordwesteuropa N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont. Beil.-Band XXXVII, S. 125—246. Stuttgart 1913. — Schmierer, Th., Über die stratigraphische Unselbständigkeit der Stufe E des schwäbischen Weiß-Jura. Jahrb. d. Pr Geol. Landesanst., B. XXXV, T. II, H. 3. Berlin 1915, S. 640. — Stille, H., Zur Stratigraphie der deutschen Lettenkohlengruppe. Jahrb. d. Pr. Geol. Landesanst. Bd. XXIX, H. I, Berlin 1908, S. 145. — Stolley, E., Die Gliedernng der norddeutschen unteren Kreide. Centralbl. f. Min., Geol. u. Paläon., Jahrg. 1908, Nr. 48, Stuttgart, S. 107—124, 140—151, 162—175, 211—220, 242—250. — Tornquist, A., Die Gliederung und Fossilführung der außeralpinen Trias auf Sardinien. Sitzungsb. d. Akad. d. Wissensch., Berlin XXXVIII, 1904, S. 1098. — Wedekind, Über die Grundlagen und Methoden der Biostratigraphie. Berlin 1916. — William, H. S., The Correlation of Geological Fauna. Bull. U. St. Geol. Surv. No. 210. 1903. — Wiman, C., Über die Borkholmer Schicht im Mittelbaltischen Silurgebiet (reprinted from Bull. of the Geol. Instit. of Upsala, No. 10, Vol. V, Part. 2, 1900) S. 149. — Wurm, A., Beitr. z. K. d. diluvialen Säugetierfauna von Mauer. Mitth. d. oberrhein. geol. Vereins N. F. II, S. 77, 1912. — Zimmermann, E., Der Thüringische Plattendolomit und seine Vertreter im Staßfurter Zechsteinprofil, sowie eine Bemerkung zur Frage der Jahresringe. Zeitschr. d. deutsch. Geol. Gesellsch. B. 65, Jahrg. 1913, Monatsb No. 7, Berlin, S. 357.

10. Die Dauerfossilien

Der Gegensatz zwischen organischen und unbelebten Vorgängen, den wir in den rezenten Veränderungen unserer Umwelt überall beobachten, beherrscht auch die ganze Vorgeschichte der Erde und äußert sich vor-

nehmlich darin, daß im Laufe der aufeinanderfolgenden Perioden als Wirkungen anorganischer Massenbewegungen die Gesteine und als Ergebnis der Lebenserscheinungen die Fossilien entstanden und uns als Dokumente der Vorzeit überliefert wurden.

Fassen wir die räumliche und zeitliche Verteilung der Gesteine etwas näher ins Auge, so sehen wir in verschiedenen Bildungsräumen gleichzeitig und nebeneinander faziell verschiedene Ablagerungen entstehen, bisweilen an ihren Rändern ineinander übergehend, oft aber scharf voneinander unterschieden. Verschiedene Fazies überlagern sich im fortlaufenden Profil und lassen uns deutlich erkennen, daß die Bildungsräume ihre Lage auf der Erdoberfläche verschoben haben und manchmal erst nach längerer Pause an denselben Bildungsort zurückkehrten. Auch hier sind die allmählichen Übergänge vom Liegenden zum Hangenden nicht so häufig, wie man aus allgemeinen Gründen erwarten sollte. Mit scharfen Grenzen überlagern sich verschiedene Gesteinsmassen und bieten dadurch die Möglichkeit, das fortlaufende Profil zu gliedern.

Aber die Anzahl der sich überlagernden Gesteinsarten ist verhältnismäßig gering. Trotz aller Unterschiede im einzelnen treten dunkle Schiefer oder körnige Grauwacken, bläuliche Kalke und weiße zuckerkörnige Kalkmassen, schwarze oder rote Letten und rote oder weiße Sandsteine immer wieder auf und zeigen, selbst wenn sie in ganz verschiedenen Perioden gebildet wurden, so große lithologische Übereinstimmung, daß man sie im Handstück nicht unterscheiden kann. So wird der Satz: „gleiche Ursachen ergeben gleiche Wirkungen“ für die Gesteinserklärung zum leitenden Gedanken und die gesteinsbildenden Vorgänge der Gegenwart geben uns ein einwurfsfreies Mittel an die Hand, um aus ähnlichen Bildungen der Vorzeit auf ähnliche klimatische Umstände zu schließen.

Auch die Lebewesen der Gegenwart bewohnen nebeneinander bestimmte Standorte und Lebensräume, deren Grenzen vielfach übereinstimmen mit den Bildungsräumen der Gesteine. Auf schlammigem Grunde gedeihen andere Meerestiere wie auf festem Kalksand und die Flora beweglicher Dünen ist grundverschieden von den Gewächsen eines sumpfigen Moderbodens. Am Rande nordischer Moränen leben andere Organismen wie an den roten Lettenpfannen des Tropenlandes, und so beobachten wir auch, daß die fossilen Einschlüsse in den meisten Fällen von dem umhüllenden Gestein abhängig sind und als Faziesfossilien mit ihm durch die Erdgeschichte wandern. Die sandbewohnenden Muscheln treten auf und verschwinden mit eingeschalteten Sandsteinbänken. Cephalopoden sind vielfach an tonige Schieferfazies gebunden, Korallen und Schnecken sammeln wir im Kalk, und Estherien in dünnen Lettenschichten zwischen Sandsteinbänken.

So scheint eine völlige Parallele zwischen Gestein und Fossil zu bestehen, solange wir nur den bionomischen, nicht den systematischen

Charakter der letzteren berücksichtigen. Sobald wir aber die Gattungen und Arten der fossilen Einschlüsse sorgfältiger vergleichen, dann hebt sich ein grundsätzlicher Unterschied zwischen anorganischen und organischen Vorgängen heraus. Denn dieselben Gesteinsarten kehren wieder, während die Arten von Pflanzen und Tieren in immer neuen Gestalten erscheinen, nach kurzer oder längerer Frist verschwinden und nicht gefunden werden, wenn auch im Hangenden dieselbe Gesteinsart wieder auftritt.

Bei Betrachtung der Leitfossilien haben wir außerdem kennen gelernt, daß viele Arten die Grenzen ihres Lebensraumes nach dem Tode überschreiten und in einer Fazies eingebettet sind, auf der sie nicht gelebt haben. Beruht doch auf solchen Funden, selbst wenn es sich um vereinzelte Exemplare handelt, oft die geologische Altersbestimmung.

So gliedern wir die sich überlagernden Gesteinsmassen durch ihren wechselnden Fossilgehalt, verbinden aber außerdem die Ablagerungen verschiedener Bildungsräume durch die gleichzeitig in ihnen eingebetteten Fossilien.

Der Verbreitungsraum jeder einzelnen Art ist von der anderen verschieden. Die eine tritt sprunghaft auf, um sich rasch über weite Räume zu verbreiten und gleichzeitig wieder zu verschwinden. Die andere leitende Art erscheint zunächst in vereinzelten Vorposten und dehnt dann allmählich ihre horizontalen Verbreitungsgrenzen. Andere kommen noch in vereinzelten Nachzüglern vor, während sie sonst aus der Schichtenfolge ausscheiden. So erscheint uns die Lebensdauer jeder Art, Gattung, Familie und Ordnung zeitlich begrenzt und niemals kehrt eine ausgestorbene Form mit denselben Charakteren wieder. Das Leben erzeugt immer neue Gestalten, baut aus den Formen der Ahnen immer neuveränderte Nachkommen und bettet in denselben Gesteinstypus, wenn er nach kürzerer oder längerer Unterbrechung im fortlaufenden Profil wieder auftritt, anders geformte Fossilien ein.

Angesichts des beständigen Wechsels der Leitfossilien und der für die einzelnen Zeitabschnitte bezeichnenden Lebensgenossen hat man einst die Auffassung vertreten, daß das Leben auf der Erde wiederholt allgemein vernichtet und dann wieder neu geschaffen worden sei.

Es ist merkwürdig, daß ein Naturbeobachter wie Cuvier die wechselnde Zusammensetzung der im Pariser Becken aufeinanderfolgenden Faunen nur durch eine Reihe lebenvernichtender Katastrophen und ebensoviele Neuschöpfungen verwickelter Tiergruppen erklären zu können glaubte, und daß seine Lehre, zwar nicht in den Kreisen der Naturforscher, aber in denen der Laien so weite und bleibende Verbreitung finden konnte.

Wir kommen nur dann zu einer richtigen Auffassung über den Wandel des organischen Lebens, wenn wir die Dauerfossilien be-

trachten, welche allen Wechsel überdauerten und zahllose Brücken über die weiten Lücken schlagen, die uns eine einseitige Betrachtung der Leitfossilien vor Augen zu führen scheint.

Indem wir von der Gegenwart gegen die geologische Vergangenheit vorschreiten, sehen wir die Zahl der rezenten Arten immer mehr abnehmen, und schon LYELL hat diese Zahlenverhältnisse benutzt, um die Stufen des Tertiärs zu kennzeichnen. Im Pliozän fand er 35—50%, im Miozän 17%, im Eozän nur $3^1/_2$% rezente Arten. Dieser erste Versuch, auf rechnerischem Wege das Alter einer Schichtenreihe zu bestimmen, ist seither ziemlich oft wiederholt worden. Aber schon PHILIPPI erkannte beim Studium der tertiären Faunen von Südamerika, daß diese Zahlen nicht stimmten, und heute wird niemand mehr den Versuch machen, miozäne oder pliozäne Schichten auf diesem Wege „exakt" zu bestimmen. Denn die diagenetischen Umstände, welche den Formbestand einer lebenden Fauna in die Artenzahl eines fossilen Fundortes verwandeln, beeinflussen natürlich auch die systematische Zusammensetzung der Faunen von zwei Fundorten.

Es liegt in der Natur der Sache, daß die Lebensdauer der Arten länger ist, wie die der Individuen und kürzer, als die der Gattungen, und daß wir daher die Arten meist als Leitfossilien und die Gattungen als Dauerfossilien finden. Aber enge und weite Formenkreise überschreiten immer wieder die durch die strenge Anwendung stratigraphischer Regeln gezogenen Grenzen und verknüpfen die so wechselvollen Zustände der Vorzeit durch die geschlossene Kette des Lebens.

Je weiter wir in der Formationsreihe zurückgehen, desto kleiner wird die Zahl rezenter Gattungen, aber selbst bis zum Untersilur lassen sich einige derselben verfolgen. Dort finden wir schon:

Lagena, Nodosaria, Textularia, Spirillina.
Lingula, Discina, Crania, Rhynchonella.
Nucula, Leda, Arca, Avicula.
Dentalium, Patella, Pleurotomaria, Turbo, Trochus, Xenophora, Capulus.
Nautilus.

Deutlich sehen wir, wie die höheren systematischen Eigenschaften, die wir als Klassencharaktere verwenden, die längste Lebensdauer haben, wie die Unterklassen im allgemeinen schon rascher sterben, die Ordnungen meist für eine engere Zeitspanne bezeichnend sind, und wie die meisten Familien noch kürzer leben. Selbst dem Leben der meisten Gattungen ist eine bestimmte Zeitgrenze gesetzt, innerhalb deren sie mit zahlreichen Arten leben, um dann anderen Gattungen Platz zu machen. Immer wieder aber retten sich einzelne dieser systematisch verschiedenen Gruppen in die nächstfolgende Zeit, aber nur ganz wenige waren lebenszäh

genug, um vom Silur bis zur Gegenwart als Dokumente der ordovicischen Blüte des Lebens auszudauern.

Auffallend ist es, daß manche primitive Stammformen eine besonders lange Lebensdauer haben und oft alle von ihnen abgeleiteten Formen zeitlich überdauern. Nautilus lebt vom Silur bis zur Gegenwart, Dictyonema vom untersten Silur bis zum Unterkarbon. Die Gattung Bactrites, die nach Smith dem Urtypus der Ammonoiden am nächsten steht, tritt im Silur auf und lebt in Amerika bis zur Mitte der Karbonzeit. Palaeohatteria aus dem Unterperm von Niederhässlich stimmt in den meisten Charakteren mit der heute noch auf Neu-Seeland lebenden Hatteria (Sphenodon) überein.

Die Gattungen Lingula und Discina haben eine fast unbegrenzte Lebensdauer, und wenn der primitive Urfisch Amphioxus heute noch lebt, so wetteifern mit ihm noch manche andere skelettlose Gattungen der rezenten Fauna durch ihre alten Charaktere.

Bemerkenswert ist das Auftreten so hochentwickelter Gattungen wie Limulus, Pentacrinus, Antedon und Actinometra sowie Ophiolespis und Ophioglypha im Jura.

Zwar hat man mehrere dieser älteren Vertreter mit neuen Namen als Untergattungen unterschieden, aber diese Namensänderung läßt doch die Tatsache unberührt, daß diese Formen inmitten anderer gleichzeitig auftretender, aber wieder verschwindender Gruppen einen Teil ihrer wesentlichen Charaktere erhalten haben.

Bei einer vergleichenden Betrachtung der langlebigen Dauerfossilien läßt sich jedenfalls leicht verfolgen, wie ihre Zahl mit jeder folgenden Periode zunimmt.

Noch klarer und deutlicher wird uns die fortlaufende Entwicklung des irdischen Lebens, wenn wir nicht so sehr die Gestalt der einzelnen Art und Gattung, als bestimmte anatomische Eigentümlichkeiten im Bau der Ordnungen und Klassen betrachten. Wenn die Käferschnecken seit dem Silur ausnahmslos 8 Rückenplatten, die Seeigel seit dem Karbon trotz aller Veränderungen in Gestalt und Größe der einzelnen Täfelchen gesetzmäßig 20 Tafelreihen zeigen, wenn unter den vielen Schnecken, die vom Silur bis zur Gegenwart alle Meere belebten, die Mündung der Schale immer rechts gelegen ist, und nur einzelne, wieder in sich geschlossene Gattungen, links gewundene Schalen besitzen, wenn die Fünfstrahligkeit der Stachelhäuter trotz allen Wechsels in Lebensweise und Form nur ganz vereinzelt verlassen wird, wenn die Wirbeltiere niemals mehr als 2 Paar Extremitäten und die Säugetiere (mit Ausnahme der Edentaten) immer 7 Halswirbel haben (so daß der Hals des Maulwurfs wie der Giraffe die gleiche Gliederung erkennen läßt, während doch bei den Vögeln die Zahl der Halswirbel immer wechselt), so sind das ebenso

viele Beweise für die ununterbrochene Dauer des Lebens, während eines ungeheuer langen Zeitraumes.

Die Kontinuität des Lebens und die zwingende Macht der Vererbung wird uns ebenso deutlich vor Augen geführt, wenn wir die feineren Strukturen der Hartgebilde u. d. M. betrachten und vergleichen.

Silurische Echinodermenreste zeigen dieselbe feinmaschige Gitterstruktur wie rezente Formen. Sogar der Muskelapparat von Lingula Eldeni aus dem untersilurischen Trentonkalk stimmt völlig mit dem der rezenten L. anatina überein. Das Knochen- und Zellgewebe devonischer Wirbeltiere gleicht in allen wesentlichen histologischen Eigenschaften dem ihrer heutigen Nachkommen, und der Fund von O. Reis hat gezeigt, daß sogar das vergängliche Muskelgewebe bei jurassischen Fischen denselben Aufbau besaß, wie die rezente Muskelsubstanz.

So lassen uns die Dauerfossilien die Unzerstörbarkeit des Lebens erkennen, die ebenso auffallend ist, wie der beständige Wechsel seiner äußeren Erscheinungsform. Wenn man erwägt, daß weiche Epithelien und zarte Drüsengewebe immer wieder diese Hartgebilde erzeugten, so darf man es vielleicht als das größte Wunder der ganzen Erdgeschichte bezeichnen, daß die weiche, so leicht zerstörbare organische Substanz mit Hilfe der Vererbung so wesentliche Eigenschaften mit solcher Zähigkeit durch so ungeheuer lange Zeiträume festhalten und immer wieder produzieren konnte.

Die Lehre Weismann's von der Unsterblichkeit des Keimplasma der Organismen gewinnt dadurch eine ganz reale Bedeutung, und von allen Eigenschaften des Lebens erscheint uns neben der harmonischen Selbstregulierung, die Widerstandsfähigkeit gegenüber der feindlichen Umwelt am bemerkenswertesten.

Literatur.

v. Ammon, L., Die permischen Amphibien der Rheinpfalz. 1889. — Böhm, J., Über Limulus Decheni Zinken. Jahrb. d. k. pr. geol. Landesanstalt u. Bergakad. 1905. — Burckhardt, C., Zur Systematik und Phylogenie der Pleurotomariiden. Sep.-Abdr. a. d. N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläontolog. Jahrg. 1897, Bd. I, S. 198. — Credner, H., Zur Histologie der Faltenzähne Paläozoischer Stegocephalen. des XX. Bd. d. Abh. d. Mathem.-physik. Classe d. K. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. 1893, S. 477. — Dean, Bashford, The Preservation of Muscle Fibers in Sharks of the Claveland Shale. Amer. Geol. Bd. XXX, S. 273—278. 1902. — Gebhardt, Über das älteste geologisch bekannte Vorkommen von Knochengewebe (Placodermen). Abdr. a. d. Verhandl. d. Anatom. Gesellsch. a. d. 21. Versamml. in Würzburg. 1907. — Müller, L., Beiträge zur Kenntnis der Craniiden unter besonderer Berücksichtigung der Kreide-Formen. 1908. — Reis, Otto M., Die Coelacanthinen, mit besonderer Berücksichtigung der im weißen Jura Bayerns vorkommenden Arten. Palaeontographica XXXV, S. 1—96. — Rohon, J. V., v. Zittel, K. A., Über Conodonten. Sonderabdr. a. d. Sitzungsb. d. k. bair. Akad. d. Wissensch. Mathem.-phys. Klasse 1886, S. 108. — Schöndorf, Fr., Paläozoische Seesterne Deutschlands. I. u. II. Paläontographica B. 56 u. 57. 1909. 1910. — Stromer v. Reichenbach, E., Über Molukkenkrebse. Z. d. d. geol. Gesellsch., Berlin 1907. — Stürtz, B., Beiträge zur Kenntnis paläozoischer Seesterne. Palaeontographica B. 32 u. 36. 1886, 1890.

11. Die Formationsgrenzen

Das in Deutschland alteingebürgerte Wort „Formation" wurde 1885 bei den Tagungen des internationalen Geologenkongresses von den Vertretern der romanischen Länder angefochten, weil es dort im lithogenetischen Sinne gebraucht wird. Und so beschloß man, folgende Nomenklatur zu verwenden:

Schichtenfolge:	Zeitfolge:
Gruppe (groupe).	Ära.
System (terrain).	Periode.
Abteilung (série).	Epoche.
Stufe (étage).	Alter.
Unterstufe (sousétage).	
Lager.	Zone.
Schicht.	

Aber so international diese Einteilung auch ausgeklügelt war, so hat sie doch nur geringen Einfluß gewonnen, und noch heute erscheint das maßgebende deutsche Lehrbuch unter dem Titel „Formationskunde".

Auch wir brauchen hier das Wort Formation im Sinne eines größeren chronologischen Zeitraumes der Erdgeschichte und bestimmen dessen Umfang und Grenzen biologisch durch das Auftreten, die Verbreitung und das Verschwinden einer gesonderten Lebewelt.

Denn ebenso, wie wir in der fortlaufenden Schichtenfolge einzelne Stufen durch bestimmte Leitfossilien unterscheiden und bestimmen können, so zeigt die Geschichte des Lebens mehr oder minder scharf gesonderte Lebensgenossenschaften, die in einer eindeutigen Reihenfolge einander ablösen.

Die Bezeichnungen für diese größeren oder kleineren Abschnitte der Erdgeschichte gingen naturgemäß von wirtschaftlich wertvollen Gesteinen aus, und wie in Deutschland der Kupferschiefer die älteste Gliederung in das ältere rote tote Liegende und den jüngeren hangenden Kalk, auf dem die Zechenhäuser erbaut wurden, bedingt, so führten in England die frühzeitig benutzten Steinkohlenlager dazu, die liegenden älteren roten Sandsteine als old red von den hangenden jüngeren new red sandstones zu trennen.

Andere Namen schlossen sich an weitverbreitete Gesteine oder an besonders auffallende fossilreiche Fundorte an, und so ist die Reihe der Formationsnamen ununterbrochen gewachsen.

Die Geschichte der wissenschaftlichen Geologie ist im Grunde genommen eine Geschichte der Formationsnamen und Formationsgrenzen, und eine kurze Übersicht läßt uns leicht erkennen, wie oft der Fort-

schritt mit einer neuen Bezeichnung für eine größere oder kleinere Schichtengruppe verknüpft war: Der uralte Ausdruck Diluvium erinnert an die mythischen Anfänge der Geologie. In seinem „Versuch einer Geschichte von Flötz-Gebürgen", Berlin 1756, führt J. G. Lehmann die Bergmannsausdrücke Steinkohlenformation, Roth(todt)liegendes und Zechstein in die Literatur ein. 1760 veröffentlichte Valisneri zwei Abhandlungen seines Freundes G. Arduino (in Nuova raccolta di opusculi filologici VI, die wiederabgedruckt wurden in Raccolta di Memorie Chimico-Mineralogiche, Metallurgiche e Orittografiche del Signor Giov. Arduino, Venezia 1775); hier werden neben den monti primarii und monti secondarii zuerst die monti tertiarii und quartarii unterschieden. 1760 brauchte J. Michel in Philos. Transact. R. Soc. die Lokalnamen: Lias, Portland, Gault. 1773 schrieb J. Chr. Füchsel den „Entwurf der ältesten Erd- und Völkergeschichte", und unterschied über dem gefalteten Grundgebirge den Muschelkalk. In seinen Vorlesungen führte um diese Zeit A. G. Werner die Namen Buntsandstein und Quaderformation ein; während J. C. Voigt (Kleine Mineralog. Schriften-Weimar 1800, II, Nr. IV) zuerst von Lettenkohle spricht. 1815 beschreibt C. v. Raumer in „Geognostische Umrisse von Frankreich, Großbritannien und Deutschland" die Verbreitung der Kreideformation, und gleichzeitig braucht Farrey in „General view of the Mineralogy of Derbyshire" die Worte: Grünsand und Wealden. 1816 nennt Phillips in „Outline of the Geology of England and Wales" die Namen: Oldred, Kimmeridge und Purbeck. Den Ausdruck Kelloway finde ich zuerst bei William Smith, „Stratigraphical System of Organized Fossils", London 1817, den Namen Oxford 1818 bei W. Buckland „Order of superposition of strata in the British Islands". 1821 charakterisiert Käferstein (in seinem „Deutschland, geognostisch-geologisch dargestellt" Bd. I) die Juraformation, den Pläner und die Braunkohlenformation, 1823 trennt Cordier in Paris (Bibliotheca italiana) zuerst die kristallinischen Gesteine von den „neptunischen" Sedimenten, scheidet Buckland („Reliquiae diluvianae") das Alluvium vom Diluvium ab. Studer führte 1825 den Schweizer Lokalnamen Molasse und 1827 das Wort Flysch in die Literatur ein.

1832 gliedert Ch. Lyell in „Principles of Geology", Bd. II, Anhang, das Tertiär in Eocän (es ist wenig bekannt, daß Lyell ursprünglich den Beginn der neuen Lebewelt als *αιων* [Zeitalter], *καινος* [neu] bezeichnete und daß sich erst durch die Übertragung ins Französische [eocène] die Herleitung von *εως* [die Morgenröte] einbürgerte), Miocän und Pliocän; während gleichzeitig Thurmann in der Umgebung von Neuchâtel das Neocom erkennt. 1834 vereinigt v. Alberti, Beiträge zu einer Monographie des Bunten Sandsteins, Muschelkalks und Keupers", diese drei Gebilde zur Trias. Auf der British Association zu Edinburgh charak-

terisieren 1835 Sedgwick und Murchison das Kambrium und das Silur. 1838 spricht Sedgwick in Proc. Geolog. Society 11 zuerst von paläozoischen Schichten, und umgrenzt 1839 in Transactions Geolog. Soc S. 2, Bd. V die Devonformation. 1840 stellt d'Orbigny die Gruppen des Cenoman, Turon und Senon fest, und in demselben Jahr beschreibt A. Römer die Fauna des Hils (in dem Norddeutschen Kreidegebirge). Murchison stellt im Jahre 1845 (in „Geology of Russia in Europe and the Ural Mountains") das Perm auf. Im Jahre 1848 prägte Murray das Wort Huronium für das kanadische Grundgebirge und Logan trennte 1857 das liegende Laurentium davon ab Beyrich grenzt 1854 (in Monatsber. der Berliner Acad. der Wissensch.) das Oligocän ab. 1858 schlägt F. C. Naumann in einem Brief an Oppel den Namen Dogger für den mittleren und Malm für den oberen Jura vor, die dieser in die „Juraformation Englands, Frankreichs und Südwestdeutschlands" einbürgert. 1859 schlug J. Marcou (Dyas et Trias) den Namen Dyas vor, den H. B. Geinitz in Deutschland einführte. 1861 begründet Gümbel (in der Geogn. Beschreibung des Alpengebirges) die Formation des Rhät, und 1865 Oppel (in Zeitschr. der deutsch. geol. Gesellsch.) das Tithon. 1870 gelangt Beyrich in Erläuterung zu Blatt Zorge der Geol Karte von Preußen zur Aufstellung des Hercyn, 1874 schlägt J. J. Dana (Manual of Geology) den Namen Archaikum vor, 1874 scheidet C. Schlüter den Emscher paläontologisch aus, 1886 begründet v. Koenen die Abtrennung eines Palaeozän und endlich erweitert 1889 Walcott die Reihe der großen geologischen Gruppen nach unten durch Einführung des Algonkium

Die größten Abschnitte der Erdgeschichte werden oft noch mit den zuerst 1760 von Arduino gebrauchten lateinischen Ausdrücken oder mit griechischen Worten bezeichnet; ich habe 1908 (Geschichte der Erde und des Lebens) daher an Stelle von Palaeozoikum und Mesozoikum Altzeit und Mittelzeit vorgeschlagen und das Kambrium als jüngste Formation der Urzeit von der Altzeit abgetrennt:

primär	azoisch	Urzeit,
	archaeozoisch . .	Altzeit,
	palaeozoisch	
sekundär	mesozoisch . .	Mittelzeit,
tertiär / quartär	kainozoisch . .	Neuzeit.

Die geologische Literatur war wiederholt von Diskussionen erfüllt über die Abgrenzung benachbarter Formationen. Mit Spannung und zugleich mit einem gewissen Gefühl des Bedauerns lesen wir, wie man sich um die Lösung von Aufgaben gestritten hat, die wohl entschieden aber nicht wissenschaftlich grundsätzlich gelöst werden können.

Die Grenzfragen zwischen dem Kambrium und dem Silur, die zu Sedgwicks und Murchisons Zeiten die englische Literatur füllten, der

Streit um die Silur-Devongrenze im Harz, um die Jura-Kreidegrenze in Norddeutschland oder der große Kampf um die alpine Trias liegen jetzt weit hinter uns und die jüngere Geologengeneration erinnert sich kaum dieser schweren Kriegsjahre. Mit Erbitterung wurde um Fragen gerungen, die man zuletzt bei den Tagungen des Geologenkongresses auf dem Wege der Abstimmung der versammelten Nationen zum Austrag zu bringen versuchte. Als hierbei einmal ausgesprochen wurde, ob man nicht statt die Stimmen zu zählen, sie besser „wiegen“ sollte, warf ein ausgezeichneter Geologe die Frage auf, wer wohl im Besitz der dazu nötigen Wage sei?

Als über die Fragen der Formationsgrenzen unter dem Vorsitz von G. Dewalque entschieden wurde, beteiligten sich von den 20 nationalen Kommissionen nur die Deutschen, Belgier, Spanier, Franzosen, Ungarn, Portugiesen, Rumänen und Schweizer an den Verhandlungen und innerhalb der einzelnen Kommissionen herrschten die größten Gegensätze. Bei der Frage des Flysch entschied sich v. Fritsch für Oligocän, Eck. Fraas, Pfaff, F. Römer und Zittel für Eocän, während Benecke, Bücking und v. Koenen sich der Stimme enthielten. Das Rhät wurde von den Deutschen und Ungarn zur Trias, von der Mehrheit aber zum Lias gestellt. So wurde eine Zufallsmehrheit zur entscheidenden Macht, der redegewandte Theoretiker siegte leicht über den stillen Beobachter, und man gelangte zu Resolutionen, die nur in der längst verschollenen Übersichtstafel Reneviers streng durchgeführt worden sind.

Die Probleme der Formationsgrenzen konnten aber auch nicht dadurch gelöst werden, daß man zwischen Kambrium und Silur ein Ordovizium, zwischen Silur und Devon ein Herzyn, zwischen Trias und Jura ein Rhät, zwischen Karbon und Perm ein Permokarbon, zwischen Jura und Kreide ein Tithon, und zwischen Kreide und Eocän ein Paleocän einschob — denn statt einer Grenze bekam man dadurch deren zwei und die Möglichkeit von Kämpfen um die Formationsgrenzen wurde dadurch nur vermehrt.

Bei der Erweiterung unserer Kenntnisse vom Bau der Erdrinde und der Faunenfolge in verschiedenen Gebieten, hat sich ergeben, daß der scharfe Faunenwechsel oder die ungleichförmige Überlagerung, die in der einen Gegend zur Aufstellung tiefgreifender Formationsgrenzen verwendet wurde, in einem nahen oder entlegenen Beobachtungsgebiet nicht aufzufinden waren und daß hier allmähliche lithologische und faunistische Übergänge vorhanden sind, wo dort eine tiefe Lücke der Schichtenfolge gähnt.

Unter dem Eindruck solcher Erfahrungen haben sich manche Geologen daran gewöhnt, nur diese Übergänge zu betonen und das Vorhandensein von scharfen Grenzen überhaupt zu leugnen. Aber diese Auffassung ist ebenso unrichtig und einseitig wie die frühere. Das ganze

Problem der Formationsgrenzen ist nicht nur eine Frage der Gliederung im vertikalen Sinne, sondern umgreift zugleich die Frage nach der räumlichen Verbreitung, und die Aufgabe einer gewissenhaften Forschung muß es sein, nicht nur die Gebiete zu umschreiben, wo lithologische oder faunistische Übergänge erkennbar sind, sondern auch solche Regionen zu umgrenzen, wo statt der allmählichen Entwicklung scharfe Gegensätze auftreten.

Wenn wir die Abteilungen der Schichtenfolge in der auf S. 32 abgedruckten Formationstabelle kritisch überschauen, dann fällt uns zuerst auf, daß die Mächtigkeit der Schichtenstufen bei der Einteilung keine Rolle spielt. Auch der Gesteinscharakter, der vielfach bei der ersten Namengebung der Formationen entscheidend war, ist im Laufe der Zeiten völlig bedeutungslos geworden. Vielmehr beruht die ganze stratigraphische Systematik ausschließlich auf biologischen Grundsätzen.

Jede Formation ist eine durch eine einheitliche Fauna oder Flora bezeichnete Phase der Erdgeschichte, und die Formationsgrenzen entsprechen den Zeiten eines tiefgreifenden Faunenwechsels.

Der Wechsel in den Lebensformen kommt allerdings, wenn wir die geologischen Umstände seines Auftretens schärfer ins Auge fassen, unter recht verschiedenen Bedingungen zustande.

Man möchte unter dem Einfluß der Entwicklungslehre zunächst geneigt sein, den Faunenwechsel an der Grenze zweier Formationen auf das Aussterben einer älteren Fauna und die Neuentstehung einer jüngeren zurückzuführen. Aber wie wir dies schon bei der Stufengliederung erkannten, sind derartige Fälle sehr selten. Die Entwicklung der Lebewelt erfolgte in der Regel so allmählich und die eine Fauna zusammensetzenden Arten werden so schrittweise durch neue Arten ersetzt, daß wir gerade in Profilen, wo derartige Übergänge zu beobachten sind, nicht in der Lage sind, scharfe Formationsgrenzen zu ziehen. Die Schwierigkeiten, welche mit der Erforschung der alpinen Trias verknüpft waren, lagen darin, daß gerade hier innerhalb fortlaufender Profile faunistische Übergänge auftreten, die der kontrastreichen germanischen Entwicklung der Trias fremd sind.

Wenn wir in vielen Fällen scharfe Formationsgrenzen beobachten, an denen verschiedene Faunen ohne Übergänge auftreten, so fällt aus allgemeinen Gründen die alte Katastrophenlehre aus — aber eine biologisch eindeutige Erklärung ist keineswegs einfach.

Am leichtesten ist ein gründlicher Faunenwechsel zu verstehen, wenn eine Lücke in der Schichtenreihe wahrnehmbar ist, und hier während eines großen Zeitraumes überhaupt keine Gesteine abgelagert oder vorhandene Schichten wieder entfernt wurden.

Für diesen Fall bietet das Bohlenprofil bei Saalfeld das wirkungsvollste Beispiel: denn hier lagert auf dem fossilführenden Oberdevon direkt das versteinerungsreiche Oberperm; es fehlen die unterkarbonen, oberkarbonen und unterpermischen Schichten, deren 8000 m betragende Mächtigkeit mit in die Lücke eingeschaltet werden muß. Ein Handstück aus der Diskordanz verdeutlicht also eine kaum zu schätzende Länge von Zeiträumen.

Aber schon wenn wir uns nach dem östlichen Aufschluß des Berges begeben, treten unter- und oberkarbone Schiefer in den eingefalteten Schichtenverband ein, in der Umgebung von Gera schalten sich zwischen den gefalteten Kulm und den horizontal darübergelegten Zechstein die roten Konglomerate des Unterperm und im sächsischen Vogtlande erscheint sogar kalkiges Oberrotliegendes und verwischt die Grenze gegen den Zechstein.

Am Bohlenprofil, wie in manchen anderen ähnlichen Aufschlüssen wird die scharfe und tiefgreifende Schichtenlücke durch ganz verschiedenartige Vorgänge bedingt:

1. die Trockenlegung ehemaligen Meerbodens,
2. eine Faltung mariner Gesteine,
3. die Abtragung der Falten auf dem Festland,
4. die Einschaltung festländischen Schuttes,
5. ein erneutes Sinken des Landes,
6. das Hereindringen des Meeres in die neugebildete Senke.

Da jeder dieser Vorgänge eine beträchtliche Zeit in Anspruch nahm, ist es kein Wunder, daß die Fauna in Liegenden von der im Hangenden so grundverschieden ist.

Wenn aber eine solche Schichtenlücke nicht erkennbar ist und dennoch im regelmäßig fortlaufenden Schichtenprofil ein Faunenwechsel beobachtet werden kann, müssen wir uns nach einer anderen Erklärung dieser biologischen Tatsache umsehen. Die Frage zerfällt in mehrere Teilprobleme. Denn wir müssen zunächst untersuchen, weshalb eine ältere Lebewelt starb oder aus der Gesteinsfolge verschwand und warum eine neue Fauna erschien oder entstand. Zugleich muß man erwägen, auf einer wie großen Fläche dieser Faunenwechsel erfolgte. Denn es ist ein wesentlicher Unterschied, ob er sich nur über Meilen oder über Kontinente erstreckte. Endlich ist zu berücksichtigen, ob der Faunenwechsel Arten, Gattungen, Familien oder Ordnungen betrifft, und zuletzt, ob die verschwindende Lebewelt bionomisch einheitlich zusammengesetzt war, ob vielleicht also nur schwebende und schwimmende Tiere oder auch die kriechenden und festsitzenden Bewohner des Meeresgrundes verschwinden?

V u l k a n i s c h e Ausbrüche haben, selbst wenn sie über weite Flächen und durch lange Zeiträume den Lebensraum der Fauna veränderten, doch niemals Formationsgrenzen erzeugt. Die Einschaltung mächtiger Diabase und Schalsteine hat den Gegensatz unter- und oberdevonischer Faunen

zwar verschärft, aber die Einheit der Devonformation nicht gestört. Selbst in der Unterpermzeit wurde die Zusammensetzung der festländischen Flora durch langandauernde Eruptionen nicht grundsätzlich umgestaltet und die Sumpfflora des norddeutschen Tertiärs kann durch die eingeschalteten Basalte zwar gegliedert, aber nicht in scharfe Zeitabschnitte zerlegt werden.

Es ist auch auffallend, daß die großen Eiszeiten im Perm und Diluvium für die Lage weitreichender Formationsgrenzen keine Bedeudeutung gewonnen haben. Ihr vernichtender Einfluß auf die festländische Flora und die davon abhängigen Landtiere ist offenkuudig. Aber selbst in den nordeuropäischen Meeren, deren Küsten so stark vereist waren, setzt sich die prädiluviale Fauna aus denselben Arten zusammen, wie die Muschelhaufen an den schwedischen Küsten und die postdiluviale Meeresfauna von Island und Grönland.

Man sollte meinen, daß die Eindampfung eines Meeres, bei der alle vorhandenen Organismen sterben mußten, auch eine gründliche Umgestaltung der Meeresfauna hervorgerufen habe, aber unser mittlerer Muschelkalk beweist das Gegenteil. Denn schon die Fauna des liegenden Wellenkalkes enthält einen großen Teil derselben Arten, die im oberen Muschelkalk vorherrschen.

Tektonische Bewegungen der Erdrinde können die Lage der Küstenlinie, das Gelände des Landes, die Tiefe des Meeres und die Höhe der Gebirge so wesentlich ändern, daß man an den Grenzen der Formationen weitverbreitete Diskordanzen erwarten möchte, aber auch hier widersprechen die tatsächlichen Verhältnisse einer solchen Auffassung. Die Gebirgsbewegungen, die zur Bildung des armorikanisch-varistischen Faltensystems führten, haben Nordeuropa in tiefgreifender Weise umgestaltet. Gleichzeitige Faltungen in Asien, Nordamerika und Australien zeigen die weltweite Verbreitung dieser umgestaltenden Vorgänge. Erdbeben und intensive Abtragung, Entstehung von ausgedehnten Senken und Sammelmulden und die Anhäufung ungeheuer mächtiger Trümmergesteine waren aber scheinbar ohne tiefgreifenden Einfluß auf die Lebewelt. Denn die untere und obere Grenze des Karbon wird durch die dabei entstandenen Diskordanzen nicht beeinflußt. Vielmehr liegt das Maximum der tektonischen Störungen weder am Anfang noch am Ende der Karbonperiode, sondern in zahlreichen Fällen in deren Mitte.

Unser Problem kann also weder durch die biologische Entwicklung der Organismen, noch durch vulkanische oder tektonische Vorgänge allein erklärt werden, obwohl alle diese Umstände und Begleiterscheinungen eine mehr oder weniger wichtige Rolle spielen.

Wenn die Lebewelt einer Formation von ihrer unteren bis zur oberen Grenze einheitlich erscheint, so sehen wir eine bodenständige Fauna sich langsam verändern — tritt dagegen an einer Formations-

grenze eine völlig neue, anders geartete und anders zusammengesetzte Lebewelt auf, so ist sie hier bodenfremd und nimmt infolge einer Verlegung ihres Lebensraumes neue Siedelungsplätze in Besitz.

Am schärfsten wird sich dieser Wechsel in den Lebensbedingungen und im Lebensraum äußern, wenn auf eine Zeit günstiger Lebensbedingungen eine Periode der Lebensfeindlichkeit folgt: wenn sich über dem Kalk eines Korallenriffs der salzige Schlamm einer Wüste, über dem Humus eines tropischen Sumpfwaldes bewegliche Sande hoher Dünen, oder auf eine bunte marine Lebewelt die vernichtenden Aschen eines dampfenden Vulkans ausbreiten. Aber alle solche Umstände können nur lokale Schichtengrenzen erzeugen; es fehlt die regionale Ausdehnung ihres Wirkungskreises.

Wenn aber ein Meeresbett ausgesüßt, oder trocken gelegt wird, wenn festländisches Landgebiet auf gewaltiger Fläche vom Meere überschritten wird, dann ergreift mit dem neuen Lebenselement auch eine neue bodenfremde Lebewelt von derselben Besitz und mit scharfer Grenze lagert über einer älteren die neue Fauna und Flora.

Solche Ingressionen und Regressionen, deren Verlauf und Ursachen wir in einem späteren Abschnitt noch eingehend untersuchen werden, bedingen die scheinbaren Sprünge innerhalb der fortlaufenden Entwickelung des irdischen Lebens, und da sie niemals die ganze Erdoberfläche und nie das ganze Weltmeer betroffen haben, werden wir immer wieder neben leicht und scharf abzugrenzenden Schichtenprofilen solche Faunen- und Schichtenfolgen finden, wo statt der Gegensätze allmähliche und schrittweise Übergänge vorhanden sind.

Literatur.

Bittner, A., Vorschläge für eine Normierung der Regeln der Stratigraphischen Nomenclatur. Mem. Congr. Géol. St. Petersbourg I. 1897. — Clark, M. B., The Stratigraphy of the Potomac Group in Maryland. 1897. S. 479. Reprinted from the Journal of Geology, Vol. V, No. 5. — Dathe, E., Die Discordanz zwischen Culm und Ober-Karbon bei Salzbrunn in Schlesien. Bes. Abdr. a. d. Zeitschr. d. D. geol. Gesellsch. Bd. XLII, H. 1. — Denckmann, A., Neue Beobachtungen über die tektonische Natur der Siegener Spateisensteingänge. Sonderabdr. a. d. Ber. d. Niederrh. geol. Ver. 1909, S. 93. — Dewalque, G., Rapports de la Commission pour l'uniformité de la nomenclature. Congrès Géol. internat. 3. Session. Berlin 1885. — Dorn, C., Beiträge zur Stratigraphie der Grenzschichten vom braunen zum weißen Jura am Westrande der Fränkischen Schweiz. Sonderabdr. a. d. Sitzungsb. d. phys.-mediz. Sozietät in Erlangen Bd. 48, S. 89, 1916. — Fraas, E., Über die natürliche Stellung und Begrenzung der Lettenkohle in Württemberg. Neununddreißigste Versamml. d. D. geol. Gesellsch. zu Straßburg i. E. S. 565. — Frech, F., Über Abgrenzung und Benennung der Geologischen Schichtengruppe. Congrès Géolog. International 7. session Russie 1897 S. 27. — Frech, F., Über das rheinische Unterdevon und die Stellung des Hercyn. Abdr. a. d. Zeitschr. d. D. geol. Gesellsch. Jahrg. 1889, S. 175. — Hahn, F. F., E. O. Ulrichs Revision der Paläozoischen Systeme ein Merkstein der Stratigraphie als Wissenschaft. Sonderabdr. a. Geol. Rundschau, Bd. III, Heft 8, 1912, S. 444. — Hermann, F., Das hercynische Unterdevon bei Marburg a. L., Sonderabdr. a. d. Jahrb. d. Preuß. Geolog. Landesanstalt Bd. XXXIII, Teil I, Heft 2, 1912, S. 305. — Kronecker, W., Zur Grenzbestimmung

zwischen Trias und Lias in den Südalpen. Sep.-Abdr. a d. Centralbl. f. Min., Geol. u. Paläont. Jahrg. 1910. — Lepsius, R., Über Denckmanns Silur im Kellerwald, im Harze und im Dillgebiete. Sond.-Abdr. a. d. Monatsb. d. D. Geol. Gesellsch. Bd. 62, Jahrg. 1910, No. 3. — Mordziol, C., Untersuchungen über die Lage der Oligocän-Miocängrenze im Mainzer Becken. Sond.-Abdr. a. d. Verh. d. Naturh. Ver. d. preuß. Rheinl. und Westfalens, 67. Jahrg., 1910, S. 237. — Munier-Chalmas, M., Note sur la Nomenclature des Terrains sédimentaire 1892—1894, S. 438. Extrait du Bull. de la Société Géolog. de France. 3. Serie, T. XXI, 1893. — Pavlow, A., Jurassique Supérieur et Crétace Inférieur de la Russie et de L'Angleterre. Bull. Soc. des Naturalistes Moscou, 1889 No. 1. — Pavlow, A., The Classification of the Strata between the Kimeridgian and Aptian. From the Quarterly Journal of the Geol. Society for 1896, S. 542. — Renevier, E., Chronographie géologique, Anexe du C. Rend. du Congrès géol. internat. Lausanne 1897. — Scupin, H., Die Grenze zwischen Zechstein und Buntsandstein in Mittel-Ostdeutschland. Sonderabdr. d. naturw. Ver. f. S. u. Thür. z. Halle a. S., Bd. 86, H. 2/3, S. 195. — Schlosser, M., Über Säugetiere und Süßwassergastropoden aus Pliocänablagerungen Spaniens und über die natürliche Grenze von Miocän und Pliocän. Sep.-Abdr. a. d. N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont. Jahrg. 1907, Bd. II, S. 1—41. 1907. — Schuchert, Ch. and Barrelli, J., A Revised Geologic Time-Table for North America. From the American Journal of Science, Vol. XXXVIII 1914. — Schuchert, Ch., The Delimitation of the Geologic Periods Illustrated by the Paleogeography of North America. Congrès Géol. International Douzième Session, Canada 1913. — Schuchert, Ch., The Delimitation of the Geology Periods Illustrated by the Paleography of North America. Etude faite à la XII. Session du Congrès géol. intern. reproduite du Compte-Rendu S. 555. — Semper, M., Tektonische und stratigraphische Pausen. Sonderabdr. a. d. Sitzungsb. d. Niederrh. Gesell. f. Natur.- u. Heilk. z. Bonn. 1910. — Stille, H., Tektonische Evolutionen und Revolutionen in der Erdrinde. Leipzig 1913. — United States Geological Survey. Nomenclature and Classification for the Geological Atlas of the United States. Twenty-fourth Annual Report. 1903. — Watts, President adress. Geol. Soc. of London 1911. — Weithofer, K. A., Die Entwicklung der Anschauungen über Stratigraphie und Tektonik im oberbayrischen Molassegebiet. Sonderabdr. a. Geol. Rundsch. Bd. V, Heft 1, 1914, S. 65. — Wetzel, W., Faunistische und stratigraphische Untersuchung der Parkinsonischichten des Teutoburger Waldes bei Bielefeld. Paläontogr. Bd. LVIII, 1911, S. 139. — Zimmermann, E. H., Stratigraphische und Paläontologische Studie über das Deutsche und das Alpine Rhät. 1884.

12. Die untere Grenze der Fossilführung

Wer es versucht, die ältesten Phasen der Geschichte der Erde und des Lebens zum Ausgangspunkt einer geologischen Schilderung zu machen, indem er die Abkühlung eines glühenden Weltkörpers bis zur Bildung der ersten Erstarrungskruste, sodann die Bildung eines primitiven Ozeans mit den ersten Anfängen des Lebens und endlich die ältesten bekannten Faunen schildert, der steht vor der großen Schwierigkeit, solche Vorgänge und Zustände darzustellen, welche man durch keine einzige geologische Beobachtung belegen kann. Wir kennen kein Gestein, das man als älteste Erstarrungskruste oder als Ablagerung des Urmeeres betrachten könnte, und kennen keine fossile Fauna, deren Eigenschaften als „primordial" betrachtet werden können. Die untere Grenze der fossilführenden Gesteine wird, ebenso wie die der ältesten

erkennbaren Fossilien nur dann verständlich, wenn wir, von den jüngsten Perioden ausgehend, also vom Hangenden nach dem Liegenden, an jene merkwürdigste aller Formationsgrenzen herantreten.

In Deutschland und seinen Nachbargebieten ist eine sorgsam gemessene fortlaufende Folge von 25 km geschichteter Gesteine zu bebachten, und diese Mächtigkeitszahl gewährt uns eine Vorstellung von den während der Bildung dieser Gesteine verflossenen unermeßlich langen Zeiträume.

In diese Gesteinsfolge sind überall reiche Floren und Faunen eingeschaltet, deren Arten entweder als Leitfossilien die einzelnen Zeiträume unterscheiden lassen oder als Dauerfossilien die ununterbrochene Kontinuität des Lebens beweisen.

Aber das Leben war in dieser langen Zeit nicht nur ohne Unterbrechung vorhanden, sondern zeigt uns durch seine phyletischen Beziehungen, trotz aller Mannigfaltigkeit im einzelnen, so gleichartige Züge, daß wir den Stammbaum des Lebens wenigstens vom Untersilur bis zur Gegenwart durch allen Wechsel der Zeiten hindurch in einfachen Linien verfolgen können. Alle neuauftretenden Formengruppen knüpfen sich an vorher vorhandene an. Selbst so abweichende Typen wie die Arthropleuriden, Rudisten oder Dinosaurier lassen sich vergleichend anatomisch leicht in die Klasse der Arthropoden, Muscheln oder Reptilien einordnen, und so abseits stehende fremdartige Typen wie Archäocyathiden, Graptolithen, Tabulaten oder Cystoideen bilden zwar die absterbenden Zweige älterer Formenkreise, nicht aber den unvermittelten Beginn neuer Entwicklungsreihen.

Es ist für viele Fragen der allgemeinen Paläontologie von der größten Wichtigkeit, auf diese Tatsache hinzuweisen, die uns mit Sicherheit lehrt, daß jede bekannte fossile Fauna aus älteren Vorfahren abgeleitet werden kann und daß alle Äste und Zweige des Stammbaumes, mögen sie nach dem Hangenden auch blind enden und ohne Fortsetzung bleiben, doch nach dem Liegenden kontinuierlich weiter verfolgt werden können.

Aber gerade da, wo wir die Wurzeln allen Lebens erwarten sollten, ist plötzlich die Folge des Lebens zu Ende, der Stammbaum abgeschnitten und fossilleere Gesteine treten an Stelle der letzten mit reichen Faunen erfüllten Schichten.

Diese untere Grenze der Fossilführung schien zunächst in Übereinstimmung mit der Annahme zu stehen, daß das Leben auf der Erde wie durch ein Wunder plötzlich entstanden sei. Als Barrande die reiche Fauna seiner C-Stufe untersucht hatte, bezeichnete er sie daher als „Primordialfauna“.

Die Entwicklungshöhe, Körpergröße und Differenzierung dieser Lebewelt stand mit den damals herrschenden philosophischen Anschau-

ungen nicht im Widerspruch und würde vielleicht auch heute Vertreter haben, wenn in der langen Kette der späteren Perioden ähnliche Unterbrechungen des Lebens und entsprechende Neuschöpfungen mehrfach zu erkennen wären.

Aber wir haben gezeigt, daß selbst die Formationsgrenzen durch zahlreiche Entwicklungslinien übersponnen werden, daß nirgends allgemeine Unterbrechungen des Lebens nachzuweisen sind und daß über alle Trennungsfugen, welche Schichten zerschneiden, die Dauerfossilien überall organisch-genetische Verbindungen knüpfen.

Bald erkannte man auch, daß die Primordialfauna Barrandes noch von älteren fossilführenden Schichten unterlagert wird; Lapworth wies die weit verbreitete Olenellusstufe nach; Walcott verfolgte den Fossilgehalt des unteren Kambriums in liegende Schichten und mit jedem Jahre mehren sich die Funde von bekannten oder fremdartigen Tierformen aus jenem verfließenden Grenzgebiet.

Die Zeiten sind vorüber, wo man die Schleppspuren unterkambrischer Medusen als Urpflanzen (Eophyton) und chemisch entstandene Konkretionen im Gneis als Urtiere (Eozoon) beschreiben durfte.

Bevor man lernte, das kristalline Grundgebirge vom Hangenden aus zu betrachten und seine „wesentliche" Eigenschaft als nachträglich erworben zu erkennen, hat man immer wieder nach organischen Resten in diesen Gesteinen gesucht, obwohl deren Lagerung und petrographische Zusammensetzung nur mit den granitischen Tiefengesteinen verglichen werden durfte, so daß man eigentlich nie auf den Gedanken hätte kommen können, sie wären einmal als Oberflächengesteine auf die Außenfläche der Erdkugel aufgelagert worden.

Am meisten Aufsehen erregte die 1860 durch W. Logan erfolgte Entdeckung des sogenannten Eozoon canadense in den laurentischen Gneisen von Kanada. Es zeigte eine konzentrisch gebänderte Struktur aus Schichten von Pyroxen und Kalkspat, die mit dem Aufbau der Stromatopora rugosa im silurischen Birdseye- und Blackriverkalk übereinzustimmen schien.

Die bekannten Mikroskopiker J. W. Dawson und W. B. Carpenter untersuchten zahlreiche Dünnschliffe und entschieden sich ebenfalls für die organische Natur des Eozoon. In den folgenden Jahren wurde Eozoon durch Gümbel und von Hochstetter auch im bayerischen Wald gefunden und die organische Natur dieses vermeintlichen Leitfossils erneut behauptet, und als sich der Zoologe Max Schultze ebenfalls entschieden für die organische Struktur aussprach, schien jeder Zweifel zu verstummen. — Aber inzwischen mehrten sich doch die Stimmen, die eine anorganische Entstehung befürworteten, und entscheidend war eine Abhandlung von C. Möbius, der mit der Annahme, ein Tier vor sich zu haben, an die erneute genaue Untersuchung der Originalschliffe von Dawson und Car-

PENTER herantrat und zur Überzeugung gelangte, daß es sich nur um eine rein mineralogische Bildung handeln könne. Als endlich J. W. GREGORY und JOHNSTON-LEWIS nachwiesen, daß vulkanische Bomben im Aschenmantel des Vesuvgebietes genau dieselbe Struktur haben, und BONNEY die Fundorte in Kanada nochmals untersuchte, konnte man Eozoon als älteste Spur des irdischen Lebens nicht mehr retten.

Aber im kristallinen Grundgebirge finden wir andere Zeugen, die uns hoffen lassen, noch organische Reste jener ältesten Epoche zu entdecken.

Denn die hohe Entwicklung und Mannigfaltigkeit der ältesten bekannten Lebewesen läßt sich biologisch nicht verstehen, und wir müssen versuchen, sie lithologisch zu erklären.

Zunächst wird man an die Graphitlager denken, die von vielen mit dem Diamant einerseits, mit Anthrazit, Steinkohle, Braunkohle und Torfmasse nach der anderen Seite in eine chemisch-geologische Reihe eingeordnet werden. Aber seitdem ich 1889 mächtige Graphitgänge im lateritisch verwitterten Gneis von Ceylon nachgewiesen hatte, ist es immer klarer geworden, daß viele Graphite anorganische Bildungen sein müssen.

Anders liegt es mit den kristallinischen Kalklinsen, die als Marmorlager nicht nur in jüngere, zweifellos metamorphen Gesteine eingeschaltet sind, sondern auch zu den bezeichnenden Gliedern des ältesten kristallinischen Grundgebirges gehören. Größere Felsmassen von reinem kohlensauren Kalk bilden sich niemals als direktes Abspaltungsgestein aus dem Magma, sondern nur durch Niederschlag aus wässeriger Lösung oder als organische Ausscheidung durch die Hartgebilde von Pflanzen und Tieren. Der Umriß eingelagerter Kalkspat- oder Aragonitmassen, die in Spalten, Lücken oder Höhlen entstanden, oder der Sinterkalke, die sich in der Umgebung von Thermen auflagerten, hat keine Ähnlichkeit mit der linsenförmigen Gestalt großer Marmor- oder Urkalklager. Wir sehen in ihnen vielmehr, selbst wenn sie von kristallinischen Tiefengesteinen umgeben werden, organisch entstandene Kalke, die, ursprünglich als isolierte Riffe oder als fortlaufende Schichtentafel gebildet, bei der mechanischen Verknetung und thermischen Metamorphose verwandelt wurden.

Die böhmische Primordialfauna und die darunter folgenden fossilführenden Sandsteine von Terjovic liegen auf einem gefalteten Grundgebirge, in dem mächtige Spilite auf vulkanische Tätigkeit sowie auf die Bildung und Abtragung eines Gebirges hindeuten, über dessen Wurzel das kambrische Meer schritt. Hier können wir die Ahnen jener Fauna also nicht erwarten.

In Skandinavien und Schottland liegt das Unterkambrium auf groben Trümmergesteinen von großer Mächtigkeit, in denen große Stücke von unzersetztem Feldspat auf ein festländisches Wüstenklima, kreuzgeschich-

tete Sandsteine auf wandernde Dünen und ausgezeichnet erhaltene Windkanter auf trockene Stürme schließen lassen. Auch hier können wir die Vorfahren der marinen Olenellusfauna nicht suchen.

Die im Sparagmit von Schweden eingeschalteten Birikalke sind in einem großen Binnensee entstanden, aber selbst die sorgfältigste Untersuchung des Birikalkes zeigt uns keine Spur von geformten Überresten seiner Lebewelt. Auch die im Kambrium so häufigen Kriechspuren fehlen auf seinen Schichtenflächen, und so dürfen wir mit Sicherheit sagen, daß in diesem 250 km langen und 100 km breiten Wasserbecken weder hartschalige Brachiopoden noch Trilobiten gelebt haben.

Günstig für die Erhaltung vorkambrischer Fossilien ist der blaue Ton der Ostseeprovinzen, der meist als Unterkambrium betrachtet wird, obwohl er bei einer gleichförmigen Mächtigkeit von 100 m sowohl lithologisch wie faunistisch von den Olenellusschichten geschieden ist und daher dem Algonkium zugerechnet werden sollte. Eine bei Kunda erbohrte kohlige Zwischenschicht von 2 m Mächtigkeit hat uns die Reste der damaligen Flora überliefert, während die Form von Glaukonitkörnern die ältesten Vertreter von Foraminiferen anzeigt. Im Gegensatz zum Birikalk haben wir ein algonkisches Wasserbecken, in dem marine Pflanzen und Tiere lebten und ein Sediment abgelagert wurde, das dem rezenten Kontinentalschlamm überaus ähnlich ist.

Aus den geschilderten Profilen geht hervor, daß es vor dem Kambrium Festländer und Wasserbecken gegeben hat, in denen zwar Leben existierte, aber nicht die Vorfahren der kambrischen Fauna gedeihen konnten, oder nicht erhalten wurden, weil jene ältere Fauna andere Wasserbecken besiedelte.

Je feinschlammiger ein präkambrisches marines Sediment war, desto leichter konnte es bei der Vergneisung umkristallisieren und fossilleer werden. Daher müssen wir nach solchen Profilen Umschau halten, wo allmähliche Übergänge von kambrischen fossilführenden Tonschiefern zu liegenden vollkristallinen Phylliten überleiten.

v. Gümbel, der sich mit diesen Fragen viel beschäftigt hat, beschrieb vom Rande des Fichtelgebirges zwischen Rehau und Selb ein überaus interessantes, fortlaufendes Profil, das, von dem fossilreichen Untersilur ausgehend, ohne Unterbrechung durch einen Schichtenstoß von mehreren Kilometern bis zu den kristallinen Gesteinen des sogenannten Grundgebirges hinabführt. Später haben Loretz, Liebe und Zimmermann im Frankenwald ähnliche Profile untersucht, aus denen hervorgeht, daß die ältesten fossilführenden Schichten nicht überall mit scharfer Grenze auf gefaltetem und metamorphem Präkambrium aufruhen, sondern auch in allmählichen Übergängen mit ihnen verknüpft sein können. Die anfangs deutlich erkennbare Trümmerstruktur fossilreicher Tonschiefer verschwindet schrittweise, indem sich kleine, neugebildete Kristalle ver-

mehren und endlich vollkristalline Gesteine erzeugen, deren Gewebe nicht ursprünglich sein kann, sondern nachträglich entstanden ist. So werden die Glimmerschiefer und Gneise, die man früher als Erstarrungskruste der Erde betrachten durfte, zu Paragneisen, in denen ursprüngliche Eigenschaften verloren gingen und durch nachträglich erworbene verdeckt wurden.

Wenn die so weitverbreiteten Paragneise aber ehemalige Trümmergesteine sind, wenn Sauer darin echte Konglomerate, C. Coleman sogar gekritzte Geschiebe nachweisen konnte, dann dürfen wir die Hoffnung nicht verlieren, auch in diesen so tiefgreifend veränderten Felsmassen den ehemaligen Fossilgehalt zu entdecken.

Hat doch Cayeux in den präkambrischen Schiefern der Bretagne Spongiennadeln und Radiolarien gefunden, und so können wir erwarten, daß es gelingt, die Spuren älterer Lebewesen in den alten Mulden der gefalteten Paragneise zu entdecken und unsere Kenntnisse der präkambrischen Lebewelt immer vollständiger werden.

In völliger Übereinstimmung damit steht auch die Tatsache, daß die letzten Fossilien, die wir an der Grenze von hangenden Trümmergesteinen und liegenden Paragneisen finden, in verschiedenen Gegenden ein ganz verschiedenes Alter besitzen. Am Nufenenpaß erkennen wir in der unteren Grenzregion der Fossilführung Lias-Belemniten, in Savoyen karbonische Pflanzen, bei Bergen silurische Brachiopoden und ersehen daraus, daß die Vergneisung an verschiedenen Stellen verschieden weit gewirkt hat. Zwar wird man im Gneis der Zentralalpen, selbst wenn er aus karbonischen Trümmergesteinen entstand, keinen wohlerhaltenen Baumstamm erwarten und das bekannte Schaustück in Bern nur als ein Naturspiel betrachten dürfen, aber das geschulte Auge wird gewiß noch manchen zarten Umriß auf kristallinen Schieferplatten enträtseln.

Mithin dürfen wir auch in solchen Fällen, wo die letzten erkennbaren Fossilien unterkambrisches Alter besitzen, annehmen, daß ältere Faunen nachträglich zerstört sind.

Immer wieder wurde die Erdrinde gefaltet und fossilführende Gesteine vergneisen. Hierbei verloren sie zwar nicht ihre Schichtung, aber meist ihre Trümmerstruktur, und so ist es kein Wunder, daß die zarten Kiesel- und Kalkskelette der ältesten Faunen hierbei ebenso zerstört wurden, wie die hornigen Panzer ihrer Lebensgenossen. Sind doch alle diese Hartgebilde so vergänglich gegenüber Druck und Hitze, daß wir im vergneisten Sattelkern uralter Faltengebirge keine Spur derselben mehr erwarten können.

Literatur

Barrande, M. J., Faune primordiale aux environs de Hof en Bavière. Extrait du Bulletin de la Société Geolog. de France. 2. série, T. XX, p. 478, 1863. — Berkey, Ch. P., Structural and Stratigraphic Features of the Basal Gneisses of the Highlands.

From N. Y. State Museum Bulletin 107 Geolog. Papers S. 361, 1907. — Cayeux, M. L., Les Preuves de l'Existence d'Organismes dans le Terrain·Precambrien. Extrait du Bulletin de la Societé Geol. de France, 3. serie, tome XXII, p. 197, 1894. — Dalmer, K., Zur Theorie der Genesis der archäischen Formation des Erzgebirges. Sep.-Abdr. a. d. Centralbl. f. Min., Geol. u. Paläont., Jahrg. 1904, Nr. 18, S. 566—571. — v. Fellenberg, E. und Schmidt, C., Neuere Untersuchungen über den sogen. Stamm im Gneiße von Guttannen. Sep.-Abdr. a. d Mitteil. d. Naturf. Gesellsch. i. Bern, Jahrg. 1898, S. 81, 1899. — Goldschmidt, V. M., Profilet Ringsaker-Brottum ved Mjosen. Norges geol. undersorgelser aarbog for 1908, No. 2. — Gregory, J. W., The Age of the Metamorphic Rocks of North-Eastern Victoria. September 1902, S. 123. — Gregory, J. W., The Heathcotian — A Pre-Ordovician Series and its Distribution in Victoria. September 1902, S. 148. — Heritsch, F., Geologische Studien in der Grauwackenzone der nordöstlichen Alpen. I. Die geol. Verhältnisse der Umgebung von Hohentauern. Aus d. Sitzungsb. d. Kais. Akad. d. Wissensch. in Wien. Mathem.-naturw. Klasse. Bd. CXVI, Abt. I, 1907. — van Hise, Ch. R., The Problem of the Pre-Cambrian. Bulletin of the Geol. Society of America Vol. 19, p. 1—28, 1908. — van Hise, Ch. R. u. Leith, Ch. K., Pre-Cambrian Geology of North America. Bulletin 369. 1902. — Högbom, A.-G., Precambrian Geology of Sweden. Reprinted from Bull. of the Geol. Instit. of Upsala, Vol. X, 1910. — Kemp, J. F., Pre-Cambrian formations in the State of New York Extrait du Compte Rendu du XI. Congrès Geol. International. 1910, S. 699. Klemm, G., Bericht über Untersuchungen an den sogenannten Gneißen und den metamorphen Schiefergesteinen der Tessiner Alpen. Sitzungsb. d. K. Pr. Akad. d. Wissensch. 1904, II, S. 46. 1905, XX, S. 442. 1906, XXII, S. 420. 1907, XII, S. 245. — Koenigsberger, J., Über Gneisbildung und Aufschmelzungszonen der Erdkruste in Europa. Sonderabdr. a. Geol. Rundsch. Bd. III, H. 5/6, S. 297, 1912. — Lepsius, Metamorphose der Schichten des Grundgebirges von Attica. Abdr. a. d. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Gesellsch. Jahrg. 1893, S. 530. — Liebe, K. Th. u. Zimmermann, E., Die zonenweise gesteigerte Umwandlung der Gesteine in Ostthüringen. Sep.-Abdr. a. d. J. d. K. pr. geol. Landesanst. für 1886, S. 148, 1887. — Matthew, G. F., The sudden Appearance of the Cambrian Fauna. C. R. Int. Géol. Congr., Stockholm 1910. — Milch, Die heutigen Ansichten über Wesen und Entstehung der kristallinen Schiefer. Sonderabdr. a. Geol. Rundsch. Bd. I, Heft 3/4, 1910, S. 36. — Reusch, H., Geologische Beobachtungen in einem regional metamorphosierten Gebiet am Hardangerfjord in Norwegen. Sep.-Abdr. a. d. N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont., Beilageb. V, 1887, S. 52. — Rothpletz, A., Über das Alter der Bündner Schiefer. Ztschr. d. Deutsch. Geol. Ges. B. 47. — Rothpletz, A., Über die systematische Deutung und stratigraphische Stellung der ältesten Versteinerungen. I. Die Fauna der Beltformation bei Helena in Montana. Abh. der Bayer. Akad. d. Wiss. Math.-phys. Kl. Bd. 28. 1915. — Rothpletz, A., Über die systematische Deutung und stratigraphische Stellung der ältesten Versteinerungen Europas und Nordamerikas mit besonderer Berücksichtigung der Cryptozoen und Oolithe. II. Über Cryptozooen, Eozoon und Atikokania. Abh. d. Bayr. Akad. d. Wiss. Math.-phys. Kl. B. 28. 1916. — Rothpletz, A., Enthalten die Kalkgerölle des unteren Sparagmits Vorläufer der kambrischen Flora und Fauna. C. R. Congr. Geol. Intern. Stockholm 1910 (1912). — Rothpletz, A., Meine Beobachtungen über Sparagmit und Birikalk am Mjösen in Norwegen. Sitzungsb. d. k. Bayer. Akad. d. Wissensch., Mathem.-physik. Klasse, Jahrg 1910, 15. Abhandlung. — Salomon, W., Arietites Sp. im schieferigen Granit führenden Biotit-Zoisit-Hornfels des Nufenen-Passes). Verhandl. d. Naturh.-Medizin. Vereins z. Heidelberg., N. F., XI. Bd., 3. Heft, 1911, S. 220. — Sauer, A., Über Conglomerate in der Glimmerschieferformation. Sep.-Abdr. a. Zeitschr. f. d. ges. Naturwiss., Bd. LII, 1879, S 706. — Sederholm, J. J., Sur les vestiges de la vie dans les formations progonozoiques. Extrait du Compte Rendu du XI. Congrès Géologique International, 1910, S. 515. — Sollas, W. J., The Fauna of the Protoeon, S. 499. — Walther, J., Die lithologischen Eigenschaften

der Gesteine im Liegenden der kambrischen Formation. Extrait du Compte Rendu du XI. Congrès Géolog. International, 1910, S. 511. — Wiman, C., Paläontologische Notizen 1 u. 2. Reprinted from Bull. of the Geol. Inst. of Upsala, Nr. 3 Vol. II, 1894. Zimmermann, E, Das Palaeozoicum bei Görlitz und die Auffindung devonischer Trilobiten daselbst. Sonderabdr. a. d. Monatsb. b. D. geol. Gesellsch. Bd. 60, Jahrg. 1908. Nr. 7, S. 168. — Zimmermann, E., Das Altpaläozoicum und sein Gebirgsbau in Schlesien. Jahrb. d. K. Pr. Geol. Landesanst. Bd. XXXIII, T. II, H. 3.

13. Die Lücken der paläontologischen Urkunde

Alle Wissenschaften die sich mit vergangenen Zeiten beschäftigen, verfügen über ein lückenvolles Tatsachenmaterial. Man bedenke, welche Menge von Dokumenten der alten Geschichte oder der griechischen und lateinischen Sprache unwiederbringlich verloren gegangen sind, deren Vorhandensein aus anderen gleichzeitigen Dokumenten mit Sicherheit erschlossen werden kann. Aber trotz dieser schmerzlichen Lücken ist es möglich, das erhaltene historische Tatsachenmaterial zu einem geschlossenen Wissenschaftsgebiet zu verbinden, weil der Wert eines Dokumentes um so mehr steigt, je ältere Vorgänge es behandelt und je mehr es schlaglichtartig das Dunkel der Vorzeit zu erhellen vermag.

Auch die Paläontologie zeigt große Lücken in ihren Urkunden; aber die meisten derselben lassen sich auf gesetzmäßig wirkende Ursachen zurückführen und damit verliert die Lückenhaftigkeit ihren zufälligen Charakter.

Im allgemeinen sind die Lücken der paläontologischen Urkunde am größten bei den festländischen Pflanzen und Tieren, am kleinsten bei den wirbellosen Meerestieren.

Da die meisten Fossilien von solchen Lebewesen herrühren, welche Hartgebilde in ihrem Körper entwickelten, darf es uns nicht Wunder nehmen, wenn aus dem Stamm der Protozoen nur zwei Ordnungen geologisch bekannt sind. Auch aus der Gruppe der Nesseltiere fehlen alle Formen ohne Kalkskelett. Es fehlen fast vollständig die Holothurien und einige Gruppen der Würmer, sodann die Nacktschnecken und die primitiven Urfische.

Aber diese Mängel werden reichlich ausgeglichen durch die Fülle ausgestorbener Tiergruppen, die besonders in den älteren Meeren eine ungeheure Rolle spielten.

Auch die Landtiere der Vorwelt übertreffen die festländische Fauna der Gegenwart durch ihren Reichtum an eigenartigen Formen. Denn die große Mannigfaltigkeit der rezenten Vögel läßt sich leicht auf wenige Typen zurückführen, während die seltenen fossilen Funde von Archäopteryx, Hesperornis, Ichthyornis und Odontopteryx uns Aufschlüsse über ganz neue Formationskreise geben. Wenn wir endlich die rezenten Gruppen der Fische, Amphibien, Reptilien und Säuger mit ihren fos-

silen Verwandten vergleichen, dann kann es keinem Zweifel unterliegen, daß die uns überlieferte „lückenvolle" Lebewelt der Vorzeit unvergleichlich formenreicher ist, als ihre rezenten Nachkommen.

Die größte Lücke der paläontologischen Urkunde sehen wir in dem Fehlen aller präkambrischen Formenkreise. Gerade weil wir die heutigen Tiergruppen nur bis zum Untersilur verfolgen können, und das Kambrium uns die letzten überlebenden Zweige einer älteren Urzeit bietet, deren Wurzeln wir nicht kennen, ist diese untere Lücke besonders schmerzlich. Denn sie bedeutet, daß der Paläontologe verzichten muß, die Wurzeln der Tierstämme und die Anfänge des Lebens auf der Erde an der Hand geologischer Tatsachen zu untersuchen.

Um das Fehlen von Fossilien in den nicht metamorphen Gesteinen der späteren Perioden zu verstehen, müssen wir im Auge behalten, daß das Meer die Mutter alles Lebens ist und daß bis zum Beginn der Karbonzeit die Festländer fast überall pflanzenleer waren und daher auch der Fauna keine Nahrung boten. Wir können daher in den Buntwacken des Algonkium ebensowenig Fossilien erwarten, wie in mächtigen Grauwacken der folgenden Altzeit. Aber seit dem Karbon hat die Flora in wachsender Ausdehnung das trockene Land erobert und so wurden die pflanzenleeren Wüsten immer kleiner und beschränken sich heute auf die beiden warmen, ariden Zonen, die eisigen Polargebiete und die Gebirgsinseln der großen Höhen.

Daß alle glazialen Blocklehme fossilleer sind, daß die Schuttmassen des Hochgebirges keine organischen Einschlüsse enthalten, ist selbstverständlich. Aber auch die gelben und roten Dünensandsteine, die roten Letten und bunten Konglomerate bilden Unterbrechungen in der fossilführenden Schichtenreihe.

Auch die meisten aufgelagerten Niederschläge können keine Fossilien enthalten, denn wenn ein abflußloser See so weit eingedampft wurde, daß Gips, Salz, Kalk oder Dolomit chemisch ausfiel, war längst alles Leben darin vernichtet. Nur die Reste der vorher darin lebenden Tiere können wir im Liegenden solcher Niederschläge erwarten.

Es bedarf keiner Erörterung, daß die meisten Magmagesteine fossilleer sind. Nur feinkörnige Tuffe umhüllen je nach der Lage des Vulkans marine oder festländische organische Reste.

Die größten Lücken aber werden durch die organischen Gesteine gebildet. Ist doch ein Kohlenflöz, ebenso wie ein organisch entstandener Massenkalk nur aus zerkleinerten und dabei unkenntlich gewordenen Fossilien aufgebaut.

Eine geringere Rolle spielt es, daß die meisten Organismen aus weichen Geweben und Hartgebilden bestehen, von denen nur die letzteren erhaltungsfähig sind. Denn die Beschäftigung mit einem in dieser Hinsicht unvollkommenen Material hat in der Paläontologie feinsinnige

Methoden des Vergleichens und der Bestimmung veranlaßt. Wie uns die Mantelbucht einer Muschelschale über die längst verfaulten Weichteile, die sie erzeugten, die wichtigsten Aufschlüsse gibt, so genügt ein einzelnes Kalktäfelchen, um zu erkennen, welche Anordnung das Wassergefäßsystem eines fossilen Echiniden zeigte, und der Zahn eines Säugetieres erlaubt nach den Gesetzen der vergleichenden Anatomie sichere Schlüsse auf Größe, Gestalt und Organisation des dazu gehörigen Tieres.

So werden die Lücken der paläontologischen Urkunde zu einer wichtigen Ergänzung unserer erdgeschichtlichen Kenntnisse. Der Wechsel fossilreicher und fossilleerer Gesteine zeigt uns, daß an demselben Bildungsraum nacheinander leblose Wüsten durch ein buntes Pflanzen- und Tierleben abgelöst wurden Die Art seiner Verteilung im Streichen faziell verschiedener Ablagerungen oder in der hangenden Schichtenfolge läßt erkennen, unter welchen Umständen Leben und Tod sich ablösten und die wechselnden Grenzen des Fundraumes einer Fauna mitten zwischen fossilleerem Gestein bieten mancherlei Anknüpfungspunkte für erdgeschicht liche Studien.

Die Geschichte der Geologie und Paläontologie ist erfüllt mit den erfolgreichen Bemühungen zahlreicher Forscher, die Lücken der paläontologischen Urkunde auszufüllen, und die ununterbrochene Reihenfolge des irdischen Lebens überall zu erkennen. Die Gliederung des „Alpenkalkes“ in einzelne Stufen an der Hand formenreicher Lokalfaunen, der Nachweis der marinen Äquivalente der in Deutschland festländisch entstandenen Schichten von Oberkarbon, Unterperm oder Untertrias, die Entdeckung der Artastufe in Rußland, der Trogkofelschichten in den Ostalpen, der Produktuskalke in Vorderindien und zahlreicher verwandter Fundorte hat die tiefe Kluft, die zwischen Oberdevon und Muschelkalk gähnte, überbrückt, und so haben sich allmählich alle Lücken geschlossen, die frühere Forscher in der Aufeinanderfolge des Lebens sehen zu müssen glauben.

Es ist zu verstehen, daß viele Geologen unter dem Eindruck so zahlreicher Übergänge zwischen den früher einmal scharf unterschiedenen einzelnen Faunen, zuletzt ganz vergessen haben, daß trotzdem die Tatsache zahlreicher lokaler faunistischer Sprünge in der Entwicklung einzelner Gebiete bestehen bleibt. Die Kontinuität der paläontologischen Urkunde in der alpinen Trias ist ebenso sicher, wie die große Lücke, die im germanischen Becken die Zechsteinfauna von der Muschelkalkfauna, oder diese von der Lebewelt des Liasmeeres trennt.

Die Länge der Zeiträume, innerhalb deren in einer gegebenen Schichtenfolge kein marines Leben möglich war, läßt sich aus der Mächtigkeit fossilleerer Zwischenschichten mit einiger Sicherheit erschließen und gibt uns wertvolle Tatsachen über das Wandern der Ozeane. So kann unsere Auffassung erdgeschichtlicher Vorgänge und biologischer

Wanderungen nur gewinnen, wenn wir neben den Übergängen auch die Lücken der paläontologischen Urkunde feststellen, ihre Reichweite prüfen und deren Ursache aufhellen.

Manche Lücken unserer Kenntnisse werden dadurch verursacht, daß große Flächen älterer fossilführender Gesteine von jüngeren Schichtentafeln überlagert werden und nur an ihrem Denudationsrand untersucht werden können. Oft hat auch langandauernde Abtragung die zu Tage anstehenden Gesteine flächenhaft entfernt und so kann man sagen, daß im allgemeinen der Fossilgehalt einer Stufe um so reicher und besser bekannt ist, je jünger sie ist, während die älteren Floren und Faunen verhältnismäßig fossilärmer erscheinen.

Ganz unabhängig von ihrem geologischen Alter ist endlich die nachträgliche Verwandlung fossilführender Gesteine in fossilleere Massen durch Diagenese oder Metamorphose. Die obersilurischen Kalke von Gotland wetteifern an Fossilreichtum mit den jungen Korallenkalken der Sinaiküste, während recente Korallenkalke im Sundameer schon zu dichtem Kalk umkristallisiert und fossilleer geworden sind.

Solange man die Lücken der paläontologischen Überlieferung nur an den wohlpräparierten, aus ihrem natürlichen Muttergestein herausgelösten Sammlungsstücken untersucht und bewertet, erscheinen sie als unüberbrückbare Abgründe innerhalb der fortlaufenden Reihe des vorzeitlichen Lebens.

Wenn wir aber jede Flora und jede Fauna als geschlossene Lebensgemeinschaft im Rahmen ihres natürlichen Lebensraumes betrachten, wenn wir die Einschaltung ursprünglich fossilleerer Gesteine ebenso berücksichtigen wie den nachträglich entstandenen Fossilmangel diagenetisch veränderter Ablagerungen, dann verliert die Lückenhaftigkeit ihre Schärfe, die Lücken werden selbst zum Problem und methodische Untersuchungen derselben befähigen uns, das zufällig Fehlende zu ergänzen und das notwendig Fehlende auszuschalten.

14. Problematika

Es hat immer findige Beobachter und eifrige Sammler gegeben, welche unter Lesesteinen und abgerollten Kieseln seltsam geformte Stücke entdeckten, die an Pflanzen, Tiere oder Gebilde von Menschenhand erinnern. Diese „Figurensteine“ bilden den Ausgangspunkt unserer heutigen mineralogischen und paläontologischen Sammlungen. Schrittweise lernte man die von gesetzmäßig entwickelten Flächen umgebenen, anorganisch gebildeten Kristalle von den organisch entstandenen fossilen Überresten uralter Lebewesen unterscheiden und die mehr oder minder zufällig geformten „Naturspiele“ von beiden sondern. Aber noch heute wird mancher Anfänger die wie Eisblumen auf feinen Schichtenfugen aus-

geschiedenen Dendriten für versteinertes Moos und die durch diagenetische Bewegungen im Kalkstein entstandenen Stylolithen für versteinertes Holz halten. Ein kegelförmiges Stück Feuerstein wurde mir als Schädel eines Rhamphorhynchus übersandt, und eine große Kieselknolle, die man vor einigen Jahren bei Eichstädt fand, erregte durch ihre Ähnlichkeit mit einem Knabenkörper solches Ärgernis, daß sie feierlich vernichtet werden mußte. In alten geologischen Schriften werden solche Figurensteine sorgfältig abgebildet und beschrieben, aber heute werden sie mißachtet, obwohl man, schon aus didaktischen Gründen, in jeder öffentlichen Sammlung einen Schaukasten mit solchen auffallenden Steinen ausstellen sollte, die besser als viele Worte den Gegensatz von Pseudofossilien und echten Fossilien verdeutlichen.

Es ist auch ein Irrtum, wenn man glaubt, daß die älteren Sammler von Versteinerungen die aus dem Felsgestein ausgegrabenen Gebilde nur als „Figurensteine" oder „Lusus naturae" betrachtet haben.

Daß eine fossile Austernschale oder Koralle, ein Säugetierzahn oder ein Farnblatt zum organischen Reich gehöre, ist von gut geschulten Beobachtern nie bezweifelt worden.

Aber daneben fand man auch Trilobiten und Graptolithen, Tabulaten und Ammoniten, Belemniten und Rudisten, für die es in der heutigen Lebewelt keinen Vergleich gab und das Suchen nach verwandten Formen, nach den Originalen der fossilen Gebilde, mit anderen Worten, die morphologische Deutung der fossilen Reste, bildete den wichtigsten Inhalt der älteren Literatur.

Wie noch heute in den chinesischen Apotheken Säugetierknochen und -Zähne als Drachenknochen medizinisch verwendet werden, die Schlossers Scharfblick in gesonderte Faunen zu zerlegen und zu bestimmen vermochte, so waren die Steinzungen (Pietroglossae) auch in unseren Apotheken als seltsames Heilmittel begehrt, bis Valisneri nachwies, daß die vermeintlichen Vogelzungen die Zähne von fossilen Haifischen seien.

Die Belemniten wurden „Donnerkeile" genannt, weil man sie mit ähnlich geformten Steinbeilen verwechselte. Die Ammoniten tragen ihren Namen davon, daß man glaubte, sie seien die abgebrochenen Hörner des in der libyschen Wüste verehrten Jupiter Ammon. Im Jahre 1846 veröffentlichte d'Orbigny sein Werk über die Foraminiferen des Wiener Beckens unter der Annahme, daß die Rotaliden und ähnliche Formen die letzten verkümmerten Nachkommen der Ammoniten seien; nachdem Deshayes die Muschelnatur der Rudisten erkannt hatte, verteidigte L. v. Buch immer noch temperamentvoll die Ansicht, daß sie zu den Korallen gehören und 1890 sah ich in einem bekannten Museum Calceola sandalina unter den Brachiopoden.

Durch sorgfältige vergleichende Studien sind allmählich die meisten fossilen Formen in das System der lebenden Fauna und Flora eingeordnet

worden und nur vereinzelte problematische Reste wie Bostricnopus, Parkeria, Loftusia harren der anatomischen Analyse.

Aber manche paläontologische Handbücher behandeln doch noch immer große formenreiche Gruppen im Anschluß an rezente Formen, deren Verwandtschaft mit diesen nicht ganz sicher ist. Andere werden als „Anhang" zu bekannten Formenkreisen gestellt, obwohl ihre anatomische Eigenart eine besondere systematische Einstellung fordert.

Wenn man sich klar macht, daß im Laufe der geologischen Vergangenheit nicht nur Arten und Gattungen, sondern auch Familien und Gruppen ausgestorben sind und daß diese nur fossil bekannten Formenkreise immer zahlreicher werden, je weiter wir in der Formationsreihe hinabsteigen, dann darf es uns nicht befremden, wenn in den älteren Perioden auch in sich geschlossene Formenkreise gefunden werden, die ohne Nachkommen ausgestorben sind.

Sie müssen in gewissem Sinne auch jetzt noch als **Problematika** betrachtet werden insofern, als nicht alle ihre morphologischen Eigentümlichkeiten durch rezente Vergleichsformen erklärt werden können. Nur wenn wir diese problematischen Gruppen bei jeder paläontologischen Schilderung in ihrer Eigenart hervorheben, werden wir den Reichtum des organischen Lebens richtig überschauen.

Lange hat man geglaubt, daß die heutige Tiefsee die letzten Vertreter dieser ausgestorbenen Tiergruppen beherberge, und nachdem Sars an den Lofoten einen Vertreter der damals für ausgestorben gehaltenen Crinoiden in 1000 m Tiefe gefunden hatte, gingen mehrere Expeditionen hinaus, um in der Tiefsee nach den letzten Nachkommen der Ammoniten, Belemniten, Graptolithen, Tabulaten zu suchen. Ihre Bemühungen waren vergeblich. Denn, wie wir noch schildern werden, wird die heutige Tiefsee nur von Formen bewohnt, deren phyletische Wurzeln in der Mittelzeit liegen.

Es ist nicht richtig, daß alle fossilen Formen auch in der Gegenwart noch lebende Verwandte haben und wir berauben uns selbst eines ungemein lehrreichen Tatsachenmaterials, indem wir die Eigenart älterer Formenkreise geringschätzen, um sie in das Prokrustesbett des rezenten Systems einzureihen.

Die **Heliolitiden** und **Tabulaten** dürfen wir eigentlich weder als Cölenteraten, noch als Nesseltiere bezeichnen, denn ihre Weichteile sind unbekannt und ihre Skelette unterscheiden sich ebenso von den Steinkorallen wie von den Alcyonarien.

Die **Stromarien** haben mit den lebenden Hydroiden keine Verwandtschaft und ein Vergleich mit Hydractinia berücksichtigt nur die äußere Wachstumart, nicht die innere Organisation.

Eine ganz isoliert stehende Gruppe bilden die **Graptolithen**. Als besonderen Tierstamm, ihnen völlig ebenbürtig, müssen wir die **Archäocyathiden** betrachten.

Die Hyolithen und Conularien haben mit den Pteropoden nicht das geringste zu tun und Salterella bildet einen ebenso morphologisch wie biologisch wichtigen Formenkreis des kambrischen Meeres. Aber auch die Trilobiten stehen abseits von der heutigen Fauna und haben mit den Gigantostraca, den Limuliden und Scorpioniden größere Ähnlichkeit wie mit den Entomostraca, denn ihre Entwicklung zeigt keinerlei Anklänge an deren Nauplius-Stadium. Daß Agnostus den übrigen Trilobiten fremdartig gegenübersteht, geht aus seiner Entwicklung deutlich hervor und ist auch von JAECKEL betont worden.

Die Arbeiten von BATHER, CARPENTER, HAECKEL und JAECKEL haben unsere Kenntnis der früher als Cystoideen zusammengefaßten primitiven Echinodermen sehr aufgehellt, aber unter den Hydrophoriden sind noch Formen vereint, die nach Organisation und Lebensweise grundverschieden sind

Die Untersuchung der Fortpflanzungsorgane der oberdevonischen und karbonischen Pflanzen hat gezeigt, daß auch die Pseudobornien, Sphenophyllales, Calamarien, Sigillarien, Lepidodendren, Cordaiten und Farnblattgewächse (Pteridophyten) keine lebenden Vertreter hinterlassen haben.

Nur wenn wir diese Formenkreise in ihrer systematischen Eigenart schildern, können wir die Geschichte des Lebens der Vorzeit verstehen.

Als der Kampf um die Entwicklungslehre am lebhaftesten entbrannt war, erklärte HUXLEY, daß sich alle fossilen Formen leicht und restlos in das System der lebenden Fauna einordnen ließen. Er wollte dadurch die monophyletische, nach natürlichen Gesetzen erfolgende Entwicklung des Lebens betonen. Heute hat sich auf Grund eines umfassenden Materials die Überzeugung sieghaft durchgerungen, daß der Stammbaum des irdischen Lebens einheitlich ist und daß alle lebenden Formen von älteren fossilen Vorfahren abgeleitet werden können.

Aber der Satz: daß alle fossilen Tiere und Pflanzen in der rezenten Lebewelt durch Nachkommen vertreten seien — ist unrichtig

Es liegt in der Natur der Sache und ist durch die Entwicklung unserer Wissenschaft leicht erklärlich, daß man das paläontologische Material zunächst in das System der rezenten Fauna eingegliedert hat.

Jedoch die heutige Lebewelt ist nur ein einziger letzter Querschnitt. den man durch den Stammbaum des Lebens legen kann.

Denken wir uns einmal diesen als ein vielverästelt emporwachsendes Gebilde, das sich in präalgonkischer Urzeit auf breitem Wurzelstock erhebt, dann mit seinen acht nebeneinander emporstrebenden Stämmen. ihren 35 Hauptästen (Klassen) und zahlreichen Nebenästen (Ordnungen) mit allen Verzweigungen (Familien, Gattungen) durch den gewaltigen Lebensraum der geologischen Geschichte hindurchgewachsen ist — und legen durch dieses Ästesystem 12 horizontale Glasplatten hindurch, so

würde die oberste derselben der rezenten Lebewelt entsprechen, während die anderen tieferliegenden Glastafeln jeweils den gleichzeitig lebenden Formenkreis eine der geologischen Formationen bedeuten. Zahlreiche völlig ausgestorbene phyletische Äste und Zweigbündel werden dann von unten her bis zu einer dieser Ebenen reichen, aber oberhalb derselben keine Fortsetzung finden und nur einige wenige Phylen lassen sich von der kambro-silurischen Ebene ununterbrochen bis zur Gegenwart verfolgen.

Unsere zoologisch-paläontologischen Systeme projizieren nun alle diese problematischen, in vergangenen Perioden ohne Nachkommen verschwundenen Gruppen in das System der heute lebenden Organismen. Wir sehen von der obersten Glasplatte über der Krone des Baumes alle tiefer liegenden Astgruppen bis zum letzten optischen Querschnitt nach oben verlängert und in die verwandtschaftlichen Beziehungen einer von jener zeitlich grundverschiedenen Organismenwelt eingefügt.

Die geologischen Zeiträume sind viel zu groß, als daß man zeitlich so grundsätzlich verschiedene Lebenskreise in einer einzigen chronologischen Ebene vereinigen dürfte.

Wie man die rezenten Tiere nach ihren Verwandtschaftsbeziehungen in der Ebene der Gegenwart systematisch ordnet, so müßte man also eigentlich für jede der vorzeitlichen Perioden ein besonderes System aufstellen, in dem nur die damals lebenden Formen und ihre Vorfahren, aber ohne die später auftretenden Formenkreise vertreten sind.

Ob bei der Unvollständigkeit unserer paläontologischen Kenntnisse eine derartige Forderung schon jetzt durchgeführt werden kann, erscheint zweifelhaft; aber wir müssen auf diese Fehlerquellen unserer Mischsysteme aufmerksam machen, um den abseitsstehenden „problematischen" Fossilien zu einem Recht zu verhelfen, das ihnen bei der heute üblichen Darstellung verkümmert wird.

Literatur

Andrée, K., Zur Kenntnis der Crustaceen-Gattung Arthropleura und deren Stellung. Palaeontographica 57. Bd., 1910. — Bather, Obersilurische Korallen aus Gotland. Bihang till Svensk. Vet. Ak. Handl. Bd. 21, 1896. — v. Buch, Leop., Über Cystideen. Abhandl. Berl. Akad. 1845. — Burmeister, H., Die Organisation der Trilobiten. Berlin 1843. — Burmeister, H., Über Gampsonychus. Quart. Journ. of Microscop. 1900. — Dettmer, F., Die Spongites Saxonicus-Frage. Abhandl. der naturwiss. Gesellschaft Isis. Dresden 1913 2. — Die Organisation und systematische Stellung der Sphäriten. Archiv für Biontologie. Berlin. Bd. I, 1906. — Gürich, G., Les Spongiostromides du Viséen d. l. Prov. d. Namur. Mém. Mus. Roy. d'Hist. Nat. d. Belg. t. III 1906. Neues Jahrb. f. Min. Bd. I, 1907. — Haeckel, E., Amphorideen und Cystideen. Beiträge zur Morphologie und Phylogenie der Echinodermen. Jena 1896. — Heinrich, M, Über den Bau u. d. Syst. d. Stromatopor. Zentralblatt für Mineral. 1914. — Holm, G., Om Didymograptus, Tetragraptus och Phyllograptus. Geol. Fören. Förenhandl. Bd. 17, 1895. — Holm, G., Sveriges Kambrisk-Siluriska Hyolithidae och Conulariidae. Abhandl. Sver. geol. Undersökning 1893, Ser. C, No. 112. — Jaekel, O., Über die Organisation der

Cystideen. Verhandlungen der deutschen zoolog. Gesellsch. 1895, S. 109. Stammesgeschichte der Pelmatozoen, Bd. I, 1899. — Jaekel, O., Beiträge zur Beurteilung der Trilobiten. Zeitschr. der Deutsch. Geol. Gesell. 1901. — Lindström, G., Affinities of the Anthozoa Tabulata. Ann. Mag. nat. hist., 4. Ser., XVIII, 1876. — Lindström, G., Remarks on the Heliolitidae, K. Svensk, Vetensk. Akad. Handl., Bd. 32, 1899. — Meek and Worthen, Acanthotelson und Palaeocaris. Proc. Ac. nat. sc. Philadelphia 1865, S. 46, 50. — Nicholson, H. A., Monograph of the British Stromatoporoids. Palaeont. Soc. 1886—92. — Nicholson, H. A., On the Structure and affinities of the Tabulata Corals of the palaeozoic Period. London 1879. — On the Structure and affinities of the genus Monticulipora. London 1881. — Noetling, F., Untersuchungen über die Familie Lyttoniidae. Paläontographica. Bd. 51, 1904. 05. — Novak, O., Revision der paläozoischen Hyolithiden Böhmens. Abhandlung der böhm. Gesellsch. der Wissensch. 1891, 7. Folge, B. 4. — d'Orbigny, Alc., Foraminifères fossiles du Bassin tertiaire de Vienne, 1846. — Packard, A. S., On the Syncarida. Mem. Nat. Acad. Sci Washington 1886, Bd. 3. — Rauff, H., Barroisia und die Pharetronenfrage. Paläontol. Zeitschr., Bd. I, 1913. — Rothpletz, A., Über die Flysch-Fucoiden und einige andere fossile Algen, sowie über liasische Diatomeen führende Hornschwämme. Ztschr. d. Deutsch. Geol. Ges. 1896. — Schepotieff, A., Über die Stellung der Graptolithen im zool. System. N. Jahrb. f. Min., 1905, II. — Smith, Geoffrey, On the Anaspidacea. Quart. Journ. of Microscop. 1909. — Spencer Bate, C., On Palaeocrangon. Quart. ourn. geol. soc. 1859, Bd. XV, S. 137. — Walcott, Ch., Bull. U. S. geol. Survey 1886, Bd. IV, Annual Report 1890. — Zelizco, J. F., Zur Frage über die Stellung der Hyolithen. Zentralblatt f. Min., Bd. IX, 1908.

15. Die fossile Flora

Die rezente Lebewelt des Festlandes läßt sich leicht nach morphologischen und physiologischen Eigenschaften in Pflanzen und Tiere einteilen, aber um so schwerer ist dies bei ihren niederen, im Meere lebenden Verwandten.

Die höheren Pflanzen sind festgewachsen, die Tiere freibeweglich — allein die Spongien, Anthozoen und Seelilien sind auf dem Meeresgrunde angeheftet, haben nur eine geringe Beweglichkeit und wurden daher früher sogar „Pflanzentiere“ genannt.

Die Landpflanzen entnehmen, mit Ausnahme der Pilze und einiger schmarotzender Gattungen, ihre Nahrung den Gasen der Atmosphäre mit Hilfe ihrer grünen Chlorophyllkörner — aber die Korallentiere enthalten ebenfalls assimilierende Zellen und ernähren sich teilweise ganz wie jene.

Wenn es daher schon schwierig ist, einen durchgängigen morphologischen oder physiologischen Gegensatz zwischen rezenten Pflanzen und Tieren aufzustellen, so wachsen diese Schwierigkeiten, wenn wir fossile Reste vor uns haben, die in der heutigen Flora oder Fauna nicht mehr vertreten sind. Protopharetra aus dem Kambrium von Sardinien, die Stromatolithen aus den Rogensteinbänken der Untertrias und viele andere, oft geradezu felsbildend auftretende Formen der Vorzeit müssen daher als „Problematika im engsten Sinne“ betrachtet werden, weil es bisher noch nicht möglich war, sie einem der beiden organischen Reiche

einzuordnen. Da sie auf bestimmte Formationen beschränkt und ohne Nachkommen ausgestorben sind, können sie nach den im letzten Abschnitt erläuterten Grundsätzen nur an ähnliche Formenkreise in älteren Perioden angeschlossen werden, während ein Vergleich mit später auftretenden Gruppen ausgeschlossen ist.

Selbst von den ältesten Vertretern der nach ihrem ganzen Bau als Pflanzen zu bestimmenden Formen läßt sich schwer entscheiden, ob sie unter oder über dem Wasserspiegel lebten, ob sie im salzigen Meere gediehen oder brackische und süße Gewässer bewohnten.

Außer diesen morphologischen und physiologischen Schwierigkeiten erheben sich aber bei der Beurteilung älterer fossiler Lebensgemeinschaften noch manche andere, mehr bionomische Rätsel.

Fassen wir die heutige Flora in ihrem Verhältnis zur Tierwelt ins Auge, so müssen wir zuerst betonen, daß die meisten Tiere ihre Nahrung nicht direkt aus dem anorganischen Reiche beziehen, sondern nur durch Vermittlung der Pflanzen leben. Der kleinste Copepode und der größte Wal, die Mücke wie der Elefant nähren sich und wachsen auf Kosten der Nahrung, welche durch assimilierende Pflanzen aus leblosen Stoffen in Eiweiß, Fett und Kohlehydrate verwandelt wurden. Die physiologischen Gesetze, die dieser Anschauung zugrunde liegen, sind so tief begründet, daß sie nicht nur in der Gegenwart überall wirken, sondern auch in allen früheren Zeiten gültig gewesen sein müssen.

Daraus ergibt sich der folgenschwere Satz, daß eine assimilierende Flora vorhanden gewesen sein muß, bevor Tiere entstanden, und daß bei allen biologischen Entwicklungsvorgängen und jeder Neubesiedlung eines vorher unbelebten Gebietes die Flora der Fauna vorausgegangen sein muß.

Betrachten wir von diesem Standpunkt die älteste bekannte Lebewelt, so scheint sie nur aus Tieren zu bestehen. Noch merkwürdiger ist es, daß die kambrischen und silurischen Tiere, selbst wenn sie zu Klassen gehören, die, wie die Trilobiten und Fische, heute kräftige Kiefer- und Kauwerkzeuge besitzen, um geformte Pflanzennahrung zu zerkleinern, doch keine Spur solcher Werkzeuge erkennen lassen. Das Hypostom der Trilobiten ist nicht gezähnt und kein Unterkiefer daran gefügt, und auch die Mehrzahl der silurisch-devonischen Fische zeigt keine Einrichtung, um ihre Nahrung zu zerkleinern.

Da wir aus biologischen Gründen annehmen müssen, daß damals schon eine reiche Flora existierte, dürfen wir mit einiger Sicherheit schließen, daß sie vorwiegend aus weichen Zellgruppen bestand, die nicht zerkleinert werden mußten. Dies wird bestätigt durch die Tatsache, daß kohlenstoffreiche Gesteine als Graphitschiefer im kristallinen Grundgebirge, im Präkambrium als schwarzer Ton, im Silur als kohlenstoffreicher Graptolithenschiefer, im Devon und Kulm als dunkle Schiefer

mitten zwischen marinen Ablagerungen verbreitet sind, ohne daß es bisher gelang, die Umrisse der zerfallenen Pflanzengewebe zu erkennen.

Wir können uns diese auffallende Tatsache nur so erklären, daß jene alte Meeresflora noch nicht die elastischen Gewebe brauchte, welche ihre festländischen Nachkommen in Anpassung an das Leben in der Atmosphäre entwickelten und die uns vom Devon ab mit zunehmender Häufigkeit als Wurzel, Stamm und Blattrippe erhalten sind.

Nur eine Gruppe von Stützgewebe finden wir seit dem Silur bei vielen marinen Algen, nämlich Einlagerungen von kohlensaurem Kalk. Aber gerade er schützte das Gewebe der Kalkalgen gegen Tierfraß, und so ist es kein Wunder, daß sie seit dem Silur, wahrscheinlich aber schon früher, eine so große geologische Rolle beim Aufbau organischer Kalke gespielt haben.

Die ältesten fossil erhaltenen, geformten Pflanzenreste treten uns im Sinne von Potonié als Häcksel entgegen. Ganz große Schichtenflächen von Trümmergesteinen sind übersät mit unbestimmbaren Fetzen und Bruchstücken pflanzlicher Natur, die uns erkennen lassen, daß sie von Pflanzen herrühren, deren elastischen Gewebe noch nicht zu geschlossenen Gefäßbündeln fest verbunden waren, so daß sie leicht in kurze Stücke zerfielen.

Im Zusammenhang hiermit müssen wir der schon im Devon (Pseudobornia), dann im Karbon (Sphenophyllum, Archäocalamites, Calamites) so häufigen Gliederpflanzen gedenken. Sie machen uns verständlich, daß ähnliche, aus rhythmisch wachsenden Wirteln aufgebaute Pflanzen in jenen ältesten Zeiten leicht in kurze, häckselartige Stücke zerfielen. Es ist merkwürdig, mit welchem Seherblick Goethe seine „Urpflanze" konstruierte, die mit dem Bau der uralten Sphenophyllen so übereinstimmt.

Wenn sich die ältesten Meerestiere von Pflanzen nähren konnten, deren Gewebe sie nicht vorher zu zerkleinern hatten, so änderte sich dies grundsätzlich, als sich die bis dahin im Wasser lebende Flora anschickte, durch das litorale Schlammgebiet und das Delta großer Flüsse festes Land zu besiedeln. Viele Umstände kamen an der Wende des Devon-Karbon zusammen, um weite Flächen des küstennahen Meeresbodens zu verlanden. Die Senkungen der großen Tiefseebecken bedingten einen allgemeinen Rückzug des Meeres. Tiefgreifende Zersetzung hatte mächtige Verwitterungsdecken erzeugt, die leicht ausgeräumt und in die Küstenzone getragen wurden. Die Faltung großer Gebirge erzeugte beträchtliche Niederschläge, deren Abfluß, noch durch keine Vegetation geregelt, wie in den heutigen Wüsten mehr flächenhaft erfolgte.

An manchen Exemplaren von Sphenophyllum können wir noch jetzt erkennen, wie sich die Pflanze mit ihren Wirteln im Schlamm emporarbeitete, genau so, wie die Kalamiten immer neue Wurzelkränze

in den Grund, der sie zu verschlammen drohte, hineinschoben. Auch die Stigmarien zeigen deutlich, wie sehr die karbonische Flora darauf angewiesen war, auf leicht beweglichem, im Überschuß herbeigeführten Schlamm immer wieder Halt und Festigkeit zu gewinnen.

Die Häufigkeit schmaler, mit parallelen Nerven versehener Blätter (Sphenophyllum, Annullaria, Lepidodendron, Sigillaria, Cordaites) läßt ebenfalls erkennen, daß diese ältesten Gefäßpflanzen aus dem Wasser kamen, im Sumpfboden wurzelten und nur mit ihrem Oberteil über dessen Spiegel emporragten. Hier reiften im Sonnenlicht Sporen und Samen, die nicht mehr durch Wasserströmungen, sondern durch den Wind und die mit ihnen in die Luft emporsteigenden Urinsekten verbreitet wurden. Das Flügelgeäder dieser Insekten erinnert vielfach an das Geäder der ältesten Blättchen und läßt vermuten, daß schon damals eine Mimicry zwischen beiden bestand.

Bei dieser erdgeschichtlich so wichtigen Wanderung einer Wasserflora auf die Landflächen, aus einem feuchten, schweren Medium in die trockene, leichte, sturmdurchbrauste Luft, mußte sich mit der physiologischen Leistung der Organe auch der Bau ihrer Gewebe und ihre äußere Gestalt wesentlich ändern.

Die Wasserpflanzen sind von einer Nährlösung umgeben, aus der jede Oberflächenzelle die nötigen Salze entnehmen kann. Sie brauchen keine Wurzel, und ein Haftorgan genügt, um sie im Sand oder am Felsengrunde zu befestigen. Die Luftpflanze braucht eine Wurzel mit besonderen Endorganen, um die im Grundwasser gelösten Stoffe aufzunehmen.

Die Wasserpflanze schwimmt im Wasser, wenn ihr spezifisches Gewicht nur um einen Bruchteil geringer ist. Lufterfüllte Gewebeteile erleichtern das Schwimmen, und die zerschlitzten Blätter als Anpassung an die beständige Wasserbewegung finden wir ja sogar bei den Seegräsern wieder, welche die Rückwanderung vom Festland in das Wasser angetreten haben.

Die Luftpflanze muß sich selbst aufrecht halten und damit ändert sich die Statik ihres Baues. Ein fester Holzkörper trägt die gewaltige Last empor und ist gleichzeitig so elastisch gebaut, daß er auch dem stärksten Sturm Widerstand leisten kann.

Die Trockenheit der Luft verlangt einen Schutz für das weiche Gewebe der Blätter, für die Organe der Fortpflanzung und vor allen Dingen für Stamm und Äste, in denen das Wasser aus dem Boden emporgeleitet wird. So sehen wir die ursprünglich ganz mit schilfähnlichen Blättern bedeckten Stämme, an denen die Blattnarben so wichtige systematische Merkmale bieten, sich in den mit Rinde bedeckten Stamm verwandeln.

Während sich die Gewebe der Wasserpflanze in gleichförmigem Dickenwachstum vergrößern können, bewirkt der Rhythmus der Jahreszeiten außerhalb des Wassers ganz automatisch die Bildung von Jahresringen.

Es ist leicht verständlich, daß dieser für die Flora so grundsätzliche Wechsel in den äußeren Lebensbedingungen, Gestalt und Gewebebau mit einer ungeheuren Auslese und der Vernichtung zahlloser Generationen verknüpft sein mußte, welche nicht rasch genug den neuen Umständen folgen konnten, und daß nur diejenigen Pflanzengenossenschaften jene kritische Revolutionszeit überlebten, deren Anlagen und Umbildung den neuen Verhältnissen gerecht wurde.

Das sind die Gründe, welche im Oberkarbon so ungeheure Mengen von Pflanzensubstanzen erzeugten, vernichteten und aufspeicherten und als Steinkohlenflöze in Trümmergesteine von 5—8000 m Mächtigkeit einbetteten.

Viele geologische Tatsachen und Erwägungen drängen zu dem Schluß, daß die älteren Meere nicht so große Räume und Flächen auf der Erdoberfläche eingenommen haben können, wie heute. Aber selbst, wenn im Karbon dieselbe Wassermenge als Vadose außerhalb der Erdrinde existierte, so mußte die Besiedlung der alten Urwüsten mit Pflanzen eine ganz erstaunliche Vermehrung der Fauna und damit eine riesige Vergrößerung der belebten Flächen bedingen.

Die damals entstandene altzeitliche Flora wäre gewiß bis zum heutigen Tage in tausendfältiger Anpassung verbreitet und als wichtigste Formengruppe vorhanden, wenn nicht durch die zufällige Folge geologischer Ereignisse auf die soeben dem Wasser entstiegene Lebewelt eine neue, tiefgreifende Umgestaltung der äußeren Lebensbedingungen verändernd eingewirkt hätte — die in der unteren Permzeit einsetzende große Schneezeit. Die Ausdehnung der damaligen Schnee- und Eisdecken läßt sich aus der Verbreitung der glazialen Blocklehme über Nordindien, West- und Südaustralien, Brasilien und Südafrika mit Sicherheit erkennen und deren Mächtigkeit (bis zu 600 m) spricht für die Größe der wirkenden Ursachen. Kein Wunder, daß hierbei die Mehrzahl der karbonischen Formenkreise bis auf kleine Relikte vernichtet und die eben neugeformte festländische Flora wieder in ganz neue Typen umgeprägt wurden. Die Sigillarien retten sich bis in die Buntsandsteinwüste, wo sie mit Pleuromeia untergehen, die Calamiten verwandeln sich in die Equisetaceen, die Lepidodendreen und Pteridophyten gehen zugrunde und Cycadeen besiedeln jetzt die wärmeren, Coniferen die kälteren Regionen des Festlandes.

Aber der größere Teil des Festlandes wurde in der Folgezeit von den Angiospermen besiedelt, und wenn auch die in den mittelzeitlichen Formationen allmählich entstehenden festländischen Pflanzengenossen-

schaften nur sehr lückenvoll erhalten sind, so zeigen doch die uns bekannten Floren, daß sie in der Regel von gesellig lebenden Pflanzen herrühren, welche, mit ihrem dichten Wurzelschopf in dem Lockerboden verankert, geschlossene Vegetationsdecken bildeten

Die Bedeutung von solchen gesellig lebenden Pflanzen für eine Reihe von geologischen Vorgängen ist so groß, daß wir sie auch hier betrachten müssen.

Von den eisigen Tundren am Rande der nivalen Region durch die Waldgebiete und Grasebenen der humiden Zone bis zu den Sumpfregionen und Urwäldern des Tropenlandes ist der größte Teil des trockenen Landes mit allerlei Pflanzen bewachsen, deren oberirdische Teile auf einem dichten, elastischen Wurzelschopf festgehalten werden. Aus zahllosen, regellos verästelten Fasern bestehend, verknüpft er jede Pflanze unterirdisch mit ihren Lebensgenossen und verbindet sie so innig mit den Bodenteilchen, daß die letzten Wurzelenden sich nur schwer von ihnen trennen lassen.

Diese Eigenschaft der festländischen Pflanzenwurzeln beeinflußt zunächst alle Vorgänge der chemischen Verwitterung, reguliert die Verteilung und Bewegung des Wassers im Boden und verhindert die Abtragung der frischgebildeten Verwitterungskruste. Außerdem wird der Boden während des Lebens und Sterbens der sich immer neu bildenden Wurzeln mit schwachen Säuren durchtränkt und durch den Turgor der Wurzeln beständig gelockert.

Alle durch geschlossene Pflanzendecken geschützte Verwitterungsdecken sind vor der Deflation durch den Wind geschützt, und selbst das fließende Wasser muß schon mit großer Gewalt herabstürzen, wenn es in eine Rasendecke oder den Waldboden tiefere Furchen reißen will. So wächst die Mächtigkeit der Verwitterungsdecke im Schutz der Vegetation kumulativ in die Tiefe, und solange die dort lebende Pflanzengenossenschaft ihre Standorte festhält, schützt sie auch die darunter lagernden Lockermassen. Härtere unverwitterte Kerne von rundlichem Umriß sind in dem zermürbten Granitgrus regellos eingestreut, Spaltenzüge reichen als gelockerte Bänder bis in größere Tiefe und eine vielgestaltige Unterkante trennt den unverwitterten Felsengrund von seiner beweglichen Bedeckung.

Solange das herrschende Klima unverändert ist, oder so langsam schwankt, daß die einheimische Flora den Wechsel überdauert, bleibt auch die Verwitterungsdecke bodenständig liegen. Aber jede raschere Klimaänderung, welche die Flora schädigt und über größere Flächen zum Absterben bringt, bedeutet eine grundsätzliche Änderung in der Wirkung der abtragenden Kräfte. Regen und Wind wirken jetzt auf die Verwitterungsdecken ein und können in einer kurzen Zeitspanne so ungeheure Massen des seit langem gewachsenen Felsschuttes entfernen,

daß die ganze Oberfläche der Landschaft umgestaltet und in ihren Leitlinien durch die Unterkante der Verwitterungsdecke bestimmt wird.

Die Abtragung erzeugt daraus phantastische Klippen oder wollsackähnlich übereinandergebaute Granitmassen, läßt Steinsohlen und Felsenmeere zurück und endlich verwandelt die Exaration des Eises diese Geländeformen in flachgeschliffene Rundhöcker und breite U-Täler.

Noch viel wichtiger aber ist es, daß unter solchen Umständen durch die verschiedenen Abtragungskräfte neue Ablagerungen von riesiger Mächtigkeit entstehen, deren Masse gar nicht verständlich wäre, wenn sie nicht vorher durch geschlossene Vegetationsdecken solange aufgespeichert wurden.

Die Anhäufung der gewaltigen Trümmergesteine im Unterperm, die Einschaltung der Quadersandsteine in die Schichtenfolge der Kreidezeit und besonders die ungeheuren glazialen und fluvioglazialen Ablagerungen des nordischen Diluviums beruhen auf solchen Voraussetzungen und lassen auf die Verbreitung gesellig wachsender Floren schließen, deren Elemente aus den darin fossil erhaltenen Resten nur schwer zu erkennen sind.

Wie v. Richthofen zuerst gezeigt hat, spielen die Vegetationsdecken eine sehr wichtige Rolle bei der Anhäufung von Staub zu wachsenden Lößlagern, von Sandmassen im Schutz von Dünenpflanzen, bei der Bildung kleiner und großer Neulinge in der Wüste und vor allen Dingen bei der Bildung des Auelehms im Hochwassergebiet der Flüsse. Bekannt ist die Wirkung der Mangrove und ähnlicher tropischer Küstenpflanzen für die Anhäufung von Schlamm und die Bildung großer Deltas.

Bei allen diesen Vorgängen bleibt aber die eigentliche wirkende Ursache nicht erhalten. Samen, Blätter und Holz werden zerstört oder von Wind und Wasser entführt, und die Milliarden von Wurzelfasern, welche so merkwürdige geologische Wirkungen ausübten, lösen sich im Boden auf und werden zerrieben, sobald die von ihnen gebildete Verwitterungsdecke in Bewegung gerät.

So teilt die festländische Flora das Schicksal der Vergänglichkeit mit der Pflanzenwelt des Meeres, die in tierische Gewebe verwandelt wird und nur dann fossil erhalten bleibt, wenn sie zu Kohlenflözen aufgespeichert oder durch ungenießbare Einlagerungen von Kalk oder Kieselsäure dem Hunger der Pflanzenfresser entzogen wurde.

Von den kleinen Zellulosebakterien bis zu den großen Pflanzenfressern nähren sich unzählige Wesen von der assimilierenden Flora und abgesehen von den Kohlenlagern, bei deren Anhäufung ganz besondere geologische Umstände wirksam waren, lassen uns die vereinzelten Funde fossiler Pflanzen kaum ahnen, welche Rolle die Pflanzenwelt in allen geologischen Perioden gespielt hat.

16. Fährten und Spuren

Ein Fossil oder der Abdruck eines solchen entstand durch den Tod eines ausgestorbenen Tieres — in seiner Fährte ist uns dagegen ein Zeichen seines Lebens überliefert, und man sollte daher glauben, daß diese wirklichen Spuren des vorzeitlichen Lebens in den verschiedenen Schichten genau untersucht und abgebildet worden seien. Aber mit einer merkwürdigen Gleichgültigkeit hat man von seiten der Paläontologen und Fachgeologen diese Gebilde, selbst wenn man sie als leitende Fossilien erkannt hatte, weder durch genaue Abbildungen noch durch gute Diagnosen gekennzeichnet. So wird Chirotherium bis zum heutigen Tag falsch abgebildet und beschrieben; Phycodes und Nereites sind fast ebenso lange zwar als Leitfossilien verwendet worden, aber bisher ohne wissenschaftliche Bearbeitung geblieben.

Um solche Spuren des einstigen Lebens richtig zu beurteilen, muß man bestimmte Methoden anwenden, die bei anderen Fossilien nicht so nötig sind. Zunächst kann man sie nur im Lager richtig beurteilen. Ein auf den Rainen aufgelesener Phycodes bleibt unverständlich, solange man seine Orientierung zur Schicht nicht kennt. An einer Chirotheriumfährte kann man Daumen und Außenfinger verwechseln, wenn man übersieht, daß der Abguß der Fährte auf der Unterkante einer Sandsteinplatte liegt, deren liegende Tonschicht den Fußabdruck erhalten hatte.

Aber selbst wenn man sich durch Untersuchung des Lagers genau darüber orientiert hat, was Ober- und was Unterseite ist, so sind doch noch immer schwerwiegende Irrtümer möglich, solange man nicht den Abdruck oder die Fährte in den Zustand zurückversetzt, in dem sie entstanden ist. Denn nur der Abklatsch läßt uns erkennen, was rechts und links gewesen sein muß.

Unter Wasser können Fährten weder entstehen, noch sich halten; denn die Oberschicht eines frischen Trümmergesteins ist so locker, daß sie bei der geringsten Wellenbewegung immer wieder aufgewühlt wird. So sind Fährten stets Zeichen für abtrocknende Wasserflächen, die länger feucht blieben und dann für die Erhaltung der Spuren besonders günstig wurden, aber sie vergehen unter Wasser ebenso leicht, wie sie sich gebildet haben. Wer den Meeresstrand bei Ebbe mit ihnen bedeckt sah, wird bei der folgenden Flut vergeblich nach solchen suchen.

Dagegen ist staubhaltiger Sand für die Bildung und Erhaltung derselben sehr günstig. Fällt ein kurzer, spärlicher Platzregen darauf, dann saugt sich jeder Regentropfen in den Sandboden rasch hinein und verschwindet. Regnet es länger, dann entstehen durch Auswaschung des Sandes feinschlammige Lettenschichten, die beim Eintrocknen nicht nur durch Trockenrisse in polygonale Felder zerlegt werden, sondern für die Aufnahme feiner Bewegungsspuren besonders geeignet

sind. Kriechende Insekten oder verdurstende Wassertiere hinterlassen wurmähnliche Furchen, an denen die Bewegungsspur der Füße wie blattförmige Anfänge erscheinen, 'selbst bewegte Steinchen oder Pflanzenreste können organische Fährten vortäuschen.

Aber auch der von benthonischen Tieren abgesonderte zähe Schleim kann zur Erhaltung ihrer Bewegungsspuren dienen. Jedenfalls ist in der Regel nicht die Bewegungsspur selbst erhalten, sondern nur ein natürlicher Formsandabguß auf der Unterseite des Hangenden.

Merkwürdig reich an Bewegungsspuren ist das Kambrium. Sie ergänzen unser Bild von dem sonst so lückenvollen Leben jener alten Zeit, doch fehlen noch genaue Untersuchungen der vielbekannten und mehrfach abgebildeten Spuren, weil sie früher meist als Pflanzen beschrieben und behandelt wurden und dadurch in Mißkredit kamen, bis Nathorst ihre Natur richtig deutete.

Ich habe mich mehrere Tage bei Lugnos mit den Skulpturen des Eophytonsandsteins beschäftigt und eine große Zahl derselben gesammelt. Deutlich lassen sich etwa 10 ganz verschiedenartige Bewegungsformen unterscheiden, die unzweifelhaft von verschiedenen Tieren herrühren, da sie durch keinerlei Übergänge verknüpft in ihrer charakteristischen Form immer wieder auftreten. Geradlinige und regelmäßig geschlängelte Spuren finden sich neben plumpen Streifen, Doppellöcher sind als Diplocraterium in zwei ganz verschiedenen Größen beschrieben worden. Die unter dem Namen Cruziana bekannte Form greift tief in die liegende Gesteinsplatte hinab; sie unterscheidet sich darin wesentlich von den durch kleine schmale Kritzen ausgezeichneten Trilobitenfährten und muß mit der Lebensweise eines tief in den Sand hinabgrabenden Tieres zusammenhängen.

Nathorst hat die früher als Spatangites beschriebenen rundlichen fünf- oder vierkantigen Pyramiden als Magenhohlraum von Medusen erkannt und auch die Eophytonreliefs als Schleppspuren von Medusenarmen erklärt. Aber dabei wurde die merkwürdige Tatsache nicht berücksichtigt, daß die heutigen Quallen nie ihren Magen mit Sand füllen, und daß daher von rezenten Medusen ein solcher Ausguß niemals hinterlassen werden könnte. Auch die von Walcott beschriebenen kambrischen Dactyloditen zeigen denselben Schlammgehalt des Gastrovascularraumes sehr deutlich. Man muß daraus schließen, daß diese ältesten bekannten Medusen nicht planktonisch im offenen Meere trieben, sondern als Sand- und Schlammfresser über oder im Meeresgrunde lebten. Das verlangt aber Gewebe, die für eine solche grabende Lebensweise zäh genug sind, und so kommen wir dazu, eine Gruppe von Scleromedusen zu unterscheiden, die benthonisch am Boden des kambrischen Meeres lebten und deren 4—8strahlig radialer Bau noch nicht die regelmäßige Vierstrahligkeit ihrer planktonischen Nachkommen erworben hatte.

Ebenso eigenartig wie die kambrischen Medusen waren die Bewohner der parallelen Sandröhren, die als Scolithus, Arenicolites usw. in Schweden wie in Schottland kambrische Sandsteine erfüllen und mehr Beachtung verdienen, als sie bisher gefunden haben.

Die Frage, ob sie sich vergabeln können, ob sie alle in demselben Horizont beginnen und enden, wie sie sich verhalten, wenn die Sandsteinschicht auskeilt, bedürfen noch genauer Untersuchung.

Die schottischen „Piperocks“ sind wegen ihrer stratigraphischen Wichtigkeit von Peach genauer untersucht. Hier handelt es sich um bestimmte Horizonte, die ganz erfüllt sind mit nahezu gleichgroßen (10 cm oder 30 cm oder 1 m langen) sanderfüllten Röhren, deren oberes Ende oft trichterartig erweitert ist. Da man gerade in diesen Mündungen zahlreiche Schalen von Salterella beobachtet, scheinen diese problematischen Wesen die Nahrung jener gebildet zu haben.

Man hat mehrfach versucht, diese sandigen Röhren des nordischen Kambriums durch zufällige Aufwärtsbewegungen von „Gasblasen“ im Sand zu erklären. Aber wenn Fäulnisgase im sandigen Sediment eines Aquariums entstehen, dann füllt sich das Porenvolumen zwischen den Sandkörnern mit kleinen Gasbläschen, die sich niemals zu größeren Blasen vereinen.

Unsere deutschen Phycoden liegen mit fast horizontalen Zweigen ohne erkennbare „Wurzel“ auf der Unterseite von Grauwackenbänken und verlieren sich mit ihren Endbüscheln in der hangenden Schichtfläche. Die Ringelung ist zwar selten gut erhalten, spricht aber doch so entschieden für eine organische Bildung, daß jede Erklärung durch bloß mechanisch wirkende Vorgänge ausgeschlossen erscheint.

Neben Phycodes sind andere Spuren auf der Unterseite der Grauwackenbänke häufig, die bisher wenig beachtet, doch als wichtige Zeichen des oberkambrischen oder untersilurischen Lebens in Mitteldeutschland genauere Untersuchung verdienen.

Bemerkenswert und widerspruchsvoll ist das Auftreten von Nereites in den harten Quarzitbänkchen des Mitteldevon mitten zwischen den fast nur mit Tentakulites bedeckten feinschlammigen Schiefern. Denn wenn jene Fährten im abtrocknenden Seichtwasser entstanden sind, dann gilt dies auch für die planktonischen Tentakuliten.

Zahlreiche, an Fährten erinnernde Skulpturen enthält unser deutscher Kulm. Die einst viel behandelte Frage der Dictyodora-Crossopodia ist in Vergessenheit geraten, obwohl sie das Problem „Druckerscheinung oder Fossil“ in erfreulicher Weise angeschnitten hatte.

Die in einem roten Sandstein am Ufer des Lorenzostromes beobachtete 4 m lange Fährte eines vierfüßigen Tieres ist vielleicht gleichalterig mit einer Fährte im Oldred von Pennsylvanien, die schon Marsh als Rest der ältesten bekannten Tetrapoden bezeichnet. Im Oberrot

liegenden von Deutschland geben uns die von Pabst so genau untersuchten und beschriebenen Fährten einen Einblick in die überraschende Formenmannigfaltigkeit der permischen Stegocephalen.

Die zahlreichen Fährten im Connecticutsandstein sind von Hitchcok in den Jahren 1836—1865 eingehend beschrieben worden, und erst als Emmons, Leidy, Marsh und Owen die Knochenreste dieser Fauna entdeckten, hat man das Interesse für die von ihnen erzeugten Fußabdrücke verloren, obwohl ihre staunenswerte Mannigfaltigkeit noch immer berücksichtigt werden muß, wenn wir uns ein Bild von der Lebewelt der triadischen Festländer machen wollen.

Dasselbe gilt für unseren deutschen Bundsandstein. Nur seltene Funde bei Helgoland, Bernburg, Hildburghausen und Basel haben uns einige der Oasenbewohner in der großen Wüste überliefert, und auch sie sind durch Auftreten und Erhaltungsweise mehr geeignet, paläontologische Fragen aufzuwerfen, als solche zu entscheiden.

Bei Bernburg, wo die zahlreichen Pleuromeien eine von sukkulenten Pflanzen bewohnte fruchtbare Oase andeuten, findet man von Capitosaurus und Trematosaurus nur die Schädel- und Kehlplatten — das ganze übrige Skelett aber hat keine Überreste hinterlassen Sollten selbst die Extremitäten dieser gewaltigen Salamander keine verknöcherten Knochen oder härtere Klauen gehabt haben? Als Merkel in denselben Schichten ein wohlerhaltenes Skelett entdeckte, fehlte der Schädel dieses einzigartigen Sauropterygiers. Ist es ein Zufall, daß auch der Schädel von Nothosaurus so oft vom Skelett getrennt gefunden wird und daß man von Placodus eigentlich nur Reste des Schädels kennt, obwohl gerade dieser so verknöchert ist, daß man auf ein vielleicht gepanzertes Tier schließen muß? War die Verbindung des Schädels mit dem Atlas so locker, daß sie sich nach dem Tode sofort löste? oder waren die Aasfresser jener Zeit unfähig, den Schädel zu zerstören?

Von der Lebensweise jener Tiere und ihrer so verschiedenen Bewegungsart geben uns weitverbreitete Fährten ein lückenvolles Bild. J. G. Bornemann hat jahrelang solche gesammelt und in einer hinterlassenen Niederschrift zu bearbeiten begonnen, auf Grund deren dann K. Willruth die am weitesten verbreiteten Fährten von Chirotherium eingehend untersuchte. Obwohl Frantzen 1883 auf diesem Fossil einen besonderen Horizont begründete, der seitdem auf zahlreichen Kartenblättern ausgeschieden wurde, gab es doch weder eine Diagnose noch eine Abbildung dieses „Leitfossils", und so konnten ganz verschiedene Fährtenformen unter demselben Namen behandelt werden. Nicht minder seltsam ist es, daß sogar rechts und links von der Chirotherienfährte verwechselt und der große extern gelegene Fersenanhang als „Daumen" bezeichnet wurde. Sobald man durch Abklatschen mit feuchtem Fliespapier die wirkliche Fährte wiederherstellt, sieht man sofort, daß

Chirotherium nicht nach Art der Amphibien mit seitlich unter den Leib geschobenen Füßen kroch, sondern mit nahezu parallel gestellten Zehen leichtfüßig dahinschritt.

Etwa sechs andere Fährten sind auf den von Bornemann gesammelten Platten leicht zu unterscheiden; eine Fährte mit drei schmalen, etwas gekrümmten Fingern habe ich Dactylotherium, eine wie ein Hufeisen gestaltete Rhizotherium genannt (weil die letztere merkwürdige Anklänge an Rhizocorallium jenense zeigt, das vielleicht auch nichts anderes als eine Fährte ist). Die Fährten im Keuper sind noch wenig beachtet worden, verdienen aber eine gesonderte Behandlung.

Weil man in Perm und Trias die Fährten besonders häufig auf der Unterseite von Sandsteinplatten beobachtet, gelten sie als Erscheinungen, die mit der Sandsteinbildung zusammenhängen, und da man bei Ebbe auf dem feuchten Sand am Meeresufer zahlreiche Fährten entstehen sieht, ist die Meinung entstanden, daß Fährten eine litorale Ebbeerscheinung seien.

Demgegenüber müssen wir zunächst betonen, daß alle bei der Ebbe entstandenen Fährten durch die folgende Flut wieder restlos vernichtet werden und daß Fährteneindrücke auf der Oberseite einer feuchten Sandschicht sich überhaupt nicht halten. Finden sich doch die meisten bekannten Fährten auf der Unterseite von Sandsteinplatten, als Abguß eines in einer liegenden Tonschicht einst entstandenen, dann erst durch lockeren, trockenen Flugsand abgeformten Abdrucks.

Die Fährten entstanden also auf eintrocknendem Ton, und sind, wie die Tongallen, eine Letten-, nicht eine Sand-Erscheinung.

Reich an Fährten sind die Solnhofener Plattenkalke, die auf abtrocknendem Schlamm entstanden, der so rasch diagenetisch verkalkt wurde, daß die folgende Kalkschlammschicht oftmals noch einen Gegendruck abformte. Limulus ist oft mehrere Meter weit über den zähen Schlamm gekrochen, ehe er verendete, so daß die Arbeiter die Fährten im Gestein verfolgen, wie ein Jäger die Spur des Wildes. Die Fährten von Archaeopteryx und Pterodactylus lassen sich über weite Flächen verfolgen, und zeigen, wie die Flugsaurier bald sorglos umherhüpften, bald nach verschiedenen Seiten Umschau hielten. Eine besonders große und merkwürdige Fährte fand sich im Schindel'schen Bruch, von einem großen Raubtier herrührend, das mit weiten Sätzen über den schlammigen Boden eilte und selbst durch einen besonders angelegten Versuchsstollen nicht erbeutet werden konnte.

Im Gegensatz zu den Skleromedusen des Kambriums zeigen die oberjurassischen Medusen nicht nur die Vierstrahligkeit als gesetzmäßige Form, sondern lassen aus dem Abdruck erkennen, daß sie nicht mehr Schlamm- und Sandfresser waren.

Gewaltige dreizehige Fußeindrücke bei Bückeburg ließen zuerst vermuten, daß in den neokomen Sumpfwäldern Iguanodon gelebt haben müsse.

Noch wenig bekannt sind die vielen seltsamen Spuren im alpinen Flysch, obwohl sie häufig die einzigen Überreste der damaligen Lebewelt darstellen und auch auf die Bildung der merkwürdigen, unserem Kulm so ähnlichen Gesteine ein Licht werfen. Neben den Fucoideen, die man wohl unbedenklich als Algen ansprechen darf, ist besonders das mäandrisch bewegte Band der Helmintholithen bemerkenswert.

Oft ist die Frage behandelt worden, ob man zwischen den seltsamen Gestalten auf Sandsteinplatten noch Regentropfenspuren nachweisen könne. Zunächst möchte ich hervorheben, daß nur ein ganz kurzer Platzregen Spuren auf trockenem Sandboden hinterläßt. Auf dem feuchten Sand des Ebbestrandes können sich Regentropfen ebensowenig halten, wie bei einem länger dauernden Regenguß.

Fallen Regentropfen auf gröberen Sand, dann bilden sie unregelmäßige, halbkugelige Sandknoten, die beim Trocknen ebensoleicht wieder zerfallen und wohl nur selten erhalten werden. Regnet es auf sehr feinkörnigen Sand, dann saugt sich das Tröpfchen rasch in den Sand ein und bildet eine kleine Kugel, die (von den Beduinen „Schrot" genannt) leicht nach Vertiefungen herabrollt. Besonders schön bildeten sich 1906 solche „Schrotkörner" auf der frischgefallenen Asche des Vesuvkegels; sie häuften sich zu fußhohen Schichten in den Senken an und bilden die als „pisolithischer Tuff" beschriebenen Aschengesteine.

Am leichtesten entstehen Regentropfenspuren auf eben abtrocknenden Tonpfützen. Ich habe solche aus der Galalawüste abgebildet. Sie bilden Gruppen gekerbter Kreise, die sich oft schneiden und kreuzen, und finden sich entweder auf der Oberseite dünner Lettenschichten oder im Negativ auf der Unterseite einer darüber gebreiteten Formsandschicht. Im Oberrotliegenden von Tambach kommen große Platten vor, die mit solchen echten Regentropfenspuren übersät erscheinen.

Literatur

v. Ammon, L., Über das Vorkommen von Steinschrauben (Daemonhelix) in der oligocänen Molasse Oberbayerns. Abdr. a. d. Geogn. Jahresh. 1900, 13. Jahrg., S. 55. — Bather, F. A., Some Fossil Annelid Burrows. Extracted from the Geolog. Magazine, Decade V, Vol. VII, No. 549, 1910, S. 114. — Deecke, W., 18., Die bilobitenartigen Konkretionen und das Alter der sog. Knollensteine von Finkenwalde bei Stettin. Monatsb. d. D. geol. Gesellsch. No. 6, Jahrg. 1904, S. 83. — Fewkes, J. W., On excavations made in rocks by Sea-Urchins. American Naturalist XXIV, 1890. — Fraas, E., Rankensteine aus dem Rhätquarzit vom Vierenberg bei Schötmar. 3. Jahresb. d. Niedersächs. geol. Ver. z. Hannover 1910, S. 117. — Fuchs, Studien über Fucoiden. Denkschr. Akad. d. Wiss. Wien LXII, 1895. — Haeckel, E., Über fossile Medusen. Zeitschr. f. wissensch. Zool. 1865, B. XV u. XIX. Neues Jahrb. f. Min. 1866, S. 257 und Jenaische Zeitschr., Bd. VIII, 308. — Harness, Ann. Mag. Nat. History 1850, S. 440. — Hitchcock, S Americ. Journal 1845, S. 62. — Lea, S. Americ. Jounal 1849, S. 160; 1850, S. 124. — Lyell, A. J., Geol. Soc. London 1852, S. 214. — Marsh, S. Americ. Journal

1896, S. 2. — Maas, O., Abgüsse rezenter Tiefseemedusen zum Vergleich mit Fossilien aus der Kreide. Sonderabdr. a. Verh. d. Deutsch. Zool. Gesellsch. 1911, S. 186. — Nathorst, A. G., Om Spirangium och dess Förekomst i Skänes Kolförande Bildningar. Aftryck ur Öfvers, af Kongl. Vet-Akad. Förhandl. 1879. — Nathorst, A. G, Ein besonders instruktives Exemplar unter den Medusenabdrücken aus dem Kambrischen Sandstein bei Lugnas. 1910. — Owen, Q. J. Geol. Soc. London 1852, S. 214. — Peach, The Geol. Structure of the N. W. Highlands of Scotland. Mem. G. S. Gr. Britain 1907, S. 372 f. — Pabst, W., Die fossilen Tierfährten aus dem Rotliegenden Thüringens im Herzoglichen Museum zu Gotha. 1903. — Pabst, W., Beiträge zur Kenntnis der Tierfährten in dem Rotliegenden Deutschlands. Sonderabdr. a. d Zeitschr. d. Deutsch. Geolog. Gesellsch., Bd. 58, Jahrg. 1905, S. 361. — Pabst, W., Die Tierfährten in dem Oberrotliegenden von Tambach in Thüringen. Abdr. a. d. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Gesellsch. Jahrg. 1896, S. 808. — Rothpletz, A., Über die Einbettung der Ammoniten in die Solnhofener Schichten. Abhandl. d. Bayer. Akad. d. Wiss., II. Kl., Bd. 24, 1909. — Schmidt, M, Zur Deutung zweier Problematika des Buntsandsteins. Sonderabdr. a. d. Jahresber. u. Mitteil. d. Oberrhein. Geol. Vereins, Neue Folge, Bd. 1, Heft 2, S. 43—46. 1911. — Spitz, W., Über Fährten und Reste von Wirbeltieren im Buntsandstein des nördlichen Baden. Sonderabdr. a. d. Protokoll d. Monatsb. Nr. 10, Jahrg. 1805 d. Deutsch. geol. Gesellsch., S. 392. — van Tuyl, F. M. and Berkhemer, F., A Problematic Fossil from the Catskill Formation. From the American Journal of Science. Vol. XXXVIII, 1914, S. 275. — Walther, Über Algonkische Sedimente. Z. d. d. geol. Ges. 1909, S. 290, Fig. 3. — Walther, Die Denudation in der Wüste, Leipzig 1891, S. 180. — Walther, Das Gesetz der Wüstenbildung, II. Aufl., 1912, S. 20. — Walther, Die Fauna des Solnhofener Plattenkalks, Fig. 6, Haeckel-Festschrift. Jena 1904. — Walcott, Mon. U. St. Geol. Surv. Bd. XXX. — Willruth, K., Die Fährten von Chirotherium Diss, Halle 1917. — Woodworth, U. State Mus. New York. Palaeontol. Bull. No. 9, S. 959. — Woodworth, Jay, B., On the Sedentary Impression of the Animal whose trail is known as Climactichnites. New York State Mus. Bull. 69, S. 959, 1903. — Zimmermann, E., Dictyodora Liebeana (Weiss) und ihre Beziehungen zu Vexillum (Rouault), Palaeochorda marina (Geinitz) und Crossopodia Henrici (Geinitz). 35. Jb. Ges. von Freunden der Naturwissenschaften, Gera.

17. Die Hartgebilde

Fast alle Fossilien waren einst die Stützgewebe und Hartgebilde von Pflanzen und Tieren, die in gleichzeitig gebildete Sedimente eingeschlossen wurden. Selbst wenn das Fossil verschwunden ist, blieb uns ein Abdruck erhalten, der es dem morphologisch Geschulten ermöglicht, die einstige Pflanzen- oder Tierart zu bestimmen.

Bisweilen kann man die feinsten Einzelheiten ihrer histologischen Struktur, das Knochengewebe silurischer Fische, den Schalenbau von Brachiopoden, die Struktur kambrischer Annelidenzähne, wie an rezentem Material mikroskopisch untersuchen und im Oberjura von Solnhofen ist sogar die Querstreifung der Muskulatur von Fischen und Cephalopoden wiederzuerkennen. Es werden also nicht nur die anatomischen Charaktere der verschiedenen Tiergruppen vererbt, sondern auch die histologischen Feinheiten der Gewebe immer nach demselben Schema angelegt.

Die Hartgebilde sind geformte Sekrete, ausgeschieden durch bestimmte Zellgruppen nach eigenartigen physiologischen Gesetzen. Für

den Paläontologen, der sich mit diesen seit so unermeßlich langen Zeiträumen erhaltenen Gebilden beschäftigt, knüpfen sich an ihre Bildung eine Reihe von allgemeineren Problemen.

Die Organismen haben verschiedene Wege beschritten, um ihre ursprünglich weichen Gewebe zu stützen, ihre funktionell so verschiedenen Organe in der günstigsten Lage zu halten, Bewegungen im Wasser oder in der Luft auszuführen, sich gegen klimatische Einflüsse und Feinde zu schützen oder scharfe Angriffswaffen zu bilden.

Manche Gruppen scheiden so geringe Mengen von verhärtendem Schleim aus, daß er selbst nicht hinreicht, um den weichen Körper zu schützen, aber doch genügt, um Fremdkörper zu verkitten und mit deren Hilfe widerstandsfähige Hüllen zu bilden.

Unter den Foraminiferen unterscheidet man eine Familie der Agglutinantia, die ihren oft sehr großen Sarkodeleib mit verkitteten Sandkörnchen umgeben und selbst bei den Lageniden, Textulariden, Nodosariden usw. kommen neben kalkigen Schalen auch solche vor, die Sand zementieren.

Unter den Spongien sind sandreiche Gattungen weit verbreitet und als Arenosa zusammengefaßt worden.

Aber am häufigsten begegnen wir sandigen Hüllen bei den Würmern.

Es findet bei dieser Art von Skelettbildung oft eine überraschende Auslese statt, indem entweder nur Quarzkörnchen, Kalksand, Spongiennadeln oder Foraminiferenschalen aus dem gemischten Sediment gewählt und zum Schutzpanzer vereint werden. Diese von manchen Autoren auf psychische Vorgänge zurückgeführte Erscheinung beruht aber, wie man durch geeignete Experimente zeigen kann, nur auf chemischer Affinität zwischen dem Sekret und bestimmten Fremdkörpern.

Es ist auffallend, wie häufig gerade im Kambrium solche, als Wurmröhren gedeutete Gebilde sind. Im Eophytonsandstein von Schweden kann man zahlreiche, immer wiederkehrende Formen unterscheiden, die Scolithen-Sandsteine sind in bestimmten Horizonten von Millionen parallel nebeneinanderstehender Sandzylinder durchzogen. In jeder Schicht ist ihre Form und Größe völlig gleichartig. Neben bleistiftstarken Wohnröhren in der einen, durchsetzen daumendicke und meterlange Röhren andere Schichten und öffnen sich auf deren Oberfläche mit einer Mündung wie eine Posaune.

Viele ähnliche Gebilde, die in anderen Schichtenreihen oft mit Ausschluß weiterer Fossilien bekannt sind, wurden unter dem Namen Spongites beschrieben, doch sind auch anorganische Kieselkonkretionen so benannt worden.

Viel wichtiger sind die Sekrete, die ohne eingefügte Fremdkörper einheitlich zusammengesetzte elastische Hartgebilde erzeugen. Trotz einer

unübersehbaren Mannigfaltigkeit in Struktur und Gestalt lassen sie sich doch chemisch in wenige, streng gesonderte Gruppen einteilen:

Die Zellulose ($C_6H_{10}O_5$) bildet die Membran aller Pflanzen. Reine Zellulose findet sich vorwiegend bei jugendlichen Pflanzenzellen, während andere Zellen daneben noch die nahverwandten Hemizellulosen enthalten. Bemerkenswert ist es auch, daß die physiologisch von den assimilierenden Pflanzen so grundverschiedenen Pilze keine Zellulose enthalten, sondern ihre Membranen aus Chitin bilden. Unter Luftabschluß zerfällt die Zellulose in braunen oder schwarzen amorphen Torf und dieser mischt sich entweder mit tonigen oder sandigen Trümmergesteinen oder bildet für sich mächtige Anhäufungen von aschenarmer Kohle.

Eine zweite weitverbreitete Stützsubstanz ist das Chitin ($C_{32}H_{54}N_4O_{21}$). Es bildet das Skelett aller Arthropoden, wo es nicht allein die äußere Haut schützt, sondern oft auch den Darmkanal auskleidet. Neben den Krebsen und Insekten, Spinnen und Myriapoden sind die nahverwandten Anneliden reichlich mit Chitin versehen. Es findet sich in der Radula und den Kiefern von Schnecken und Cephalopoden, geringe Mengen nehmen am Aufbau der Muschelschalen teil. Bryozoen und Brachiopoden sind ebenso chitinreich wie die Hydrozoen und endlich enthalten es die Zellwände der meisten Pilze. Da wir zahlreiche fossile Vertreter der genannten Tiergruppen schon seit dem Algonkium und Kambrium kennen, gehört das Chitin, obwohl es niemals wie die Zellulose geschlossene Ablagerungen bildet, doch zu den leicht erhaltbaren Stützgeweben.

An dritter Stelle wäre der für alle Wirbeltiere bezeichnende Knorpel (Chondrin) zu nennen, dessen chemische Zusammensetzung in weiten Grenzen zu schwanken scheint, obwohl er histologisch ziemlich einheitlichen Bau erkennen läßt. Die Formel $C_{15}H_{27}O_{16}NS$ dürfte nur für einen Teil der Chondrine gelten.

In der heutigen Lebewelt sind daneben noch eine Anzahl elastischer Stützsubstanzen verbreitet, deren chemische Zusammensetzung noch nicht so genau bekannt ist.

Bei den Rhizopoden findet sich als Grundlage der kalkigen oder kieseligen Hülle ein als Keratin bezeichneter Stoff, bei den Schwämmen hat man ein Spongin unterschieden, während der Mantel der Tunicaten, dessen Baustoff früher wegen seines N-Mangels als Zellulose betrachtet wurde, jetzt als Tunicin ($C_6H_{10}O_5$) unterschieden wird.

Bei vielen Organismen bleiben diese elastischen, organischen Sekrete die einzigen Stützgewebe — andere scheiden außerdem Mineralstoffe zu deren Verstärkung aus, und zwar verhalten sich in dieser Hinsicht die einzelnen Ordnungen ganz verschieden.

Zunächst ist hervorzuheben, daß von den vielen im Wasser gelösten oder löslichen Stoffe hierzu nur Kieselsäure, Kalkkarbonat, Kalkphos-

phat, Magnesiumkarbonat und Strontiumsulfat in größeren Mengen ausgeschieden werden.

Im Seewasser (bei einem Gesamtsalzgehalt von 36 ‰) sind 2,7 ‰ $NaCl$, 0,78 ‰ KCl, 3,24 ‰ $MgCl_2$, 2,6 ‰ $MgSO_4$, 1,6 ‰ $CaSO_4$ und nur ein Rest von 0,08 ‰ SiO_3, $CaCO_3$ und $Ca_2(PO_4)_2$ enthalten. Die Untersuchungen von Herbst haben gezeigt, daß die kalkabscheidenden Tiere nicht imstande sind, den so reichlich vorhandenen Gips zu assimilieren, vielmehr nur auf jene geringen Spuren von Kalk angewiesen sind. Selbst wenn alle anderen Salze (ohne Spuren von $CaCO_3$) vorhanden sind, unterbleibt die Bildung von Kalkskeletten, und nachdem die ersten Skleriten in kalkhaltigem Wasser angelegt wurden, hört das Weiterwachsen auf, sobald der Kalk dem Wasser entzogen wird.

Im Blut der Seetiere scheint der Kalk als Kalkalbuminat enthalten zu sein; die Blutasche von Anodonta enthält 3,6 % $CaCO_2$, also das Blut selbst nur 0,032 %. Für die Ausscheidung von Kalksalzen scheint die gleichzeitige Anwesenheit des von der Leber abgeschiedenen Kalkphosphats notwendig zu sein.

Ganz besonders auffallend ist die Unabhängigkeit der Kieselausscheidung von der vorhandenen Kieselsäuremenge.

In 1 Million Wasserteilen des	Indischen Ozeans sind etwa	2 Teile,
„ „ „ „ „	Roten Meeres „ „	4 „
„ „ „ „ „	Weißen Meeres „ „	10 „
„ „ „ „ „	Eismeeres „ „	17 „

Kieselsäure gelöst und man könnte daraus schließen, daß der größere Reichtum kalter Meere an Diatomeen damit zusammenhänge — aber gerade in den warmen Meeren sind die Radiolarien um so zahlreicher. Im Liter Wasser

des Genfer Sees sind	3,7 mgr,
der Donau	4,8 „
der Elbe	9,9 „

Kieselsäure gelöst und dennoch sind diese Flußwasser arm an Diatomeenplankton.

Der Reichtum an Kieselorganismen ist also nicht etwa proportional dem Kieselsäuregehalt des Wassers, sondern wird bedingt durch eine Fülle anderer bionomischer Umstände wie Licht, Wärme, Druck usw., welche die Lebensvorgänge regeln, steigern oder herabsetzen. In diesem Zusammenhang ist es auch lehrreich, wie im brackischen Seewasser, trotz gleichzeitiger Zunahme von dessen Kalkgehalt, doch die Ausscheidung von Kalkskeletten vermindert wird. Im Ästuarium britischer Flüsse sind 44 Gattungen und 100 Arten von Foraminiferen bekannt, mit kalkarmer oder gar kalkfreier Schale, während dieselben Arten in dem normal gesalzenen Meer kalkreiche Hüllen ausscheiden. So verkümmern

auch die Nordseemuscheln beim Eindringen in die Ostsee und die Schalen von Mytilus und Tellina werden hier so kalkarm, daß man sie mit den Fingern zerdrücken kann.

Wenn man endlich bedenkt, daß Tange die Fähigkeit haben, aus dem Seewasser Jod und Brom auszuscheiden, obwohl man diese Elemente darin analytisch nicht nachweisen kann, so ergibt sich, daß bei der Ausscheidung von organischen Skeletten die physiologische Eigenart der Gewebe der betreffenden Organismen die erste Rolle spielt.

Um so wichtiger ist es, daß die chemische Zusammensetzung der Hartgebilde innerhalb bestimmter Gruppen während des langen Zeitraumes seit dem Kambrium unveränderlich dieselbe geblieben ist, daß also hier Vererbungsgesetze von ebenso großer Macht herrschen wie bei der Gestaltung der Organe.

Es wäre an sich nicht wunderbar, wenn die Brachiopoden oder die Mollusken im Laufe der geologischen Zeiträume bald das eine, bald das andere Element aus dem Seewasser aufgenommen und zum Bau ihrer Skelette verwertet hätten. Aber, genau so wie der anatomische Typus der Formenkreise immer wieder vererbt wurde, so blieb auch die physiologische Leistung der Gewebe immer dieselbe.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß, wenn nicht im ganzen Weltmeer, so doch in einzelnen Teilen desselben im Laufe der geologischen Perioden vorübergehend eine völlige Änderung in der chemischen Zusammensetzung des Seewassers erfolgte. Große Meere sind ausgesüßt, andere in Salzseen verwandelt oder mit feinkörnigen Sedimenten ausgefüllt worden. Immer wieder verschoben sich die Wasserscheiden des Festlandes und die Flüsse änderten ihre Richtung, so daß sich andere chemische Lösungsmittel in Endseen oder Nebenmeeren ansammelten. Aber die marine Tierwelt hat trotz aller dieser Veränderungen, je nach der systematischen Gruppe, Kalkkarbonat, Kalkphosphat oder Kieselsäure abgeschieden und andere reichlich vorhandene Bestandteile des umgebenden Mediums zum Aufbau ihrer Hartgebilde zu verwenden verschmäht.

So erblicken wir in diesen verschiedenen Formen des selektiven Stoffwechsels uralte Eigenschaften der durcheinander lebenden Tiergruppen und es erhebt sich die Frage, wann und wodurch diese, mit so zäher Beständigkeit vererbten, Eigenschaften erworben wurden?

Da seit dem Kambrium eine Änderung dieser Vorgänge nicht eingetreten ist, müssen wir ihre Ursachen in der vorkambrischen Urzeit suchen und da liegt es nahe, anzunehmen, daß die durch gleiche chemische Beschaffenheit ihrer Skelette ausgezeichneten Formen einstmals Bewohner eines in sich geschlossenen Wasserbeckens waren, in welchem z. B. Kalk oder Kieselsäure in solchen Mengen vorhanden war, daß die Lebewelt einen dieser Stoffe bei der Sekretion von Hartgebilden bevorzugte.

Es ist wahrscheinlich, daß in manchem Urseebecken auch andere Bestandteile zur Skelettbildung verwertet wurden, die nicht erhalten blieben. Vielleicht sind die Akantharien die letzten Überbleibsel einer einst viel reicheren Fauna mit Strontiumskeletten.

In diesen einzelnen Urmeeren müssen die Floren und Faunen so lange gelebt haben, bis die lokal günstigste Art der Skelettbildung als festes Erbteil aufgenommen war. Als dann später die Urmeere durch geologische Vorgänge in das älteste gemeinsame Weltmeer zusammenflossen und ihre Floren und Faunen sich mischten, mag wiederum eine energische Auslese stattgefunden haben — aber die spezifische Eigenschaft, nur den einen oder den anderen Bestandteil aus dem Seewasser zu assimilieren, blieb für alle Folgezeit erhalten.

Während die Mehrzahl der Pflanzen ihre mannigfaltigen Stütz- und Schutzgewebe nur aus Zellulose bilden, haben einige Gruppen außerdem die Fähigkeit erworben, ihre Zellmembranen mit Kalkkarbonat oder Kieselsäure zu imprägnieren. Die Kokkolithophoriden aus der Gruppe der marinen Flagellaten erfüllen warme Meere mit dichten Schwärmen. Die Oberfläche der kleinen Zellen ist von Kalkscheibchen oder kleinen Kalkkeulen umgeben (Kokkolithen und Rhabdolithen), die einen wesentlichen Anteil an der Zusammensetzung des feinen Kalkschlammes der Tiefsee nehmen, aber da es sich um assimilierende Pflanzen handelt, die nur in der diaphanen Oberschicht des Meeres leben, werden sie natürlich ebenso leicht im flachen Wasser abgelagert.

Weit verbreitet ist die Fähigkeit, Zellhäute mit Kalk zu verstärken bei den Rotalgen, die man daher auch als „Kalkalgen" bezeichnet. Sie leben vom Strand bis 100 m Tiefe, je nach der Klarheit des Wassers in kalten und warmen Meeren. Ihre warzigen, rosaroten Knollen bedecken weite Flächen des Meeresgrundes, überwuchern in überraschend kurzer Zeit benachbarte algenfreie Gebiete und spielen als Kalkbildner in allen Perioden eine wichtige Rolle.

Bei Corallina, Lithothamnium und Lithophyllum ist der Kalk als Kalkspath, bei Halimeda, Acetalularia, Cymopolia und Galasama als Aragonit abgelagert. Halimeda enthält 90% Kalkkarbonat und 5,5% $MgOC_3$.

Auch manche marine Grünalgen scheiden beträchtliche Mengen von Kalk aus; die Dasycladeen der wärmeren Meere finden sich schon im Silur. Vereinzelte Kalkalgen sind auch im Süßwasser verbreitet, Chara und Nitella scheiden bis 94% Kalkkarbonat ab und bilden sogar in den Quelltümpeln der Sinaiwüste dichte Rasen.

Sehr merkwürdig sind kleine kugelige Kalkalgen, die im 15proz. Salzwasser des großen Salzsees in Utah leben und an dessen Ufer zu kleinen Kalkdünen aufgeworfen sind. Ihre Ähnlichkeit mit den chemisch gebildeten Oolithen hat zu der irrigen Meinung, daß die Oolithe aus Algen entstanden seien, Anlaß gegeben.

Eine Verkieselung von Zellulosemembranen findet sich zunächst bei den Diatomeen, die, in ungeheuren Schwärmen nahe der Oberfläche kälterer Meere schwebend, vielfach lebhaften Anteil an der Bildung der Sedimente nehmen. Zahlreiche Arten leben auch im Süßwasser der Flüsse und Seen. Sie sind erst seit dem Tertiär bekannt und die aus ihnen entstandenen Kieselgurlager im norddeutschen Diluvium werden durch noch viel mächtigere Diatomeenlager am Potomak übertroffen.

Beträchtliche Mengen von Kieselsäure werden auch von den niederen Pflanzen des Festlandes ausgeschieden. Flechten, Farne, Gräser (Bambus) und Schachtelhalme enthalten in ihrer Asche bis 95% SiO_2.

Im Reich der Tiere finden wir sowohl verkalkte wie verkieselte Formenkreise.

Die Schale der Foraminiferen besteht aus vier verschiedenen Schichten: einem inneren Schalenhäutchen, der starkverkalkten primären Kammerwand, der exogenen Schalenwand und dem äußeren Häutchen. Die organische Substanz imprägniert die Kalkwand bis in die feinste Mikrostruktur und besteht aus Kalkspat mit einem von 0,3 bis 12,52% wechselndem Gehalt von $MgCO_3$. Rhumbler gelang es, die meisten, selbst die gekammerten Typen der Foraminifernenschalen durch Experiment mit unbelebten Flüssigkeiten nachzuahmen. Es ist daher gar nicht verwunderlich, wenn wir schon im algonkischen baltischen Ton die rezenten Typen wie Lagena, Nodosaria, Textularia, Rotalia, Orbulina, Globigerina finden. Denn in diesem Falle sind es ja nicht die organischen Vorgänge der Vererbung, sondern die mechanischen Gesetze der Flüssigkeitsspannung, welche die Übereinstimmung so alter Formen mit den rezenten Gattungen bedingen.

Die Radiolarien bilden zunächst eine organische Hülle (Zentralkapsel), an deren Außenseite dann die so mannigfaltigen und wunderbar gestalteten Skelette ausgeschieden werden. Während Spumellarien und Nassellarien ihr Skelett aus Kieselsäure bilden, und daher seit dem Kambrium vielfach fossil bekannt sind, besteht das Gerüst der Phaeodaria aus nur wenig verkieselten Membramen, während die Stacheln der Acantharien aus Cölestin ($SrSO_4$) bestehen.

Bei den Spongien unterscheiden wir nach der chemischen Beschaffenheit ihres Stützgewebes drei Gruppen.

Die Hornschwämme scheiden innerhalb ihrer, als Spongoblasten bezeichneten Zellen die elastischen Fasern von Spongin ab, die oft mit Sand oder anderen Fremdkörpern verkittet, ein überaus zähes, widerstandsfähiges Skelett bilden.

Die Kalkschwämme sind mit Nadeln gespickt, die im Innern von dermalen Zellen abgeschieden bei äußerst geringen Mengen organischer Substanz wesentlich aus Kalkspath bestehen mit geringen Beimengungen von Mg, Na und H_2SO_4. Jede Nadel entspricht optisch einem Kristall.

Die Kieselschwämme bilden ihre glashellen Nadeln aus amorpher Kieselsäure mit einem Wassergehalt von 6 bis 7% und Spuren von Mg, K, Na. Jede Nadel entsteht zunächst als kleines, lichtbrechendes Körperchen im Innern einer Zelle und kann unter Umständen zu ganz riesigen Dimensionen heranwachsen. Nur die Nadeln der Hexactinelliden scheinen sich innerhalb von Zellgruppen zu bilden.

Eine ganz besondere Stellung nehmen die vom Untersilur bis zum Karbon nicht seltenen Receptaculitiden ein. Ihr halbkugeliger oder birnförmiger Körper wird von einem System 6strahliger Nadeln geschützt, die zwar ganz die Sechsstrahlenform der Kieselschwämme haben, aber aus Kalk bestehen. Sie stellen also einen Kollektivtypus dar, der sich vielleicht von den Urhexactinelliden schon abzweigte, bevor diese ihr horniges Achsenfadenskelett mit SiO_2 zu imprägnieren lernten.

Bei den Alcyonaria unter den Anthozoa werden warzige Kalkkörper ausgeschieden, die je einem Kalkspatkristall entsprechen. Die organische Grundsubstanz nimmt bei den Gorgoniden so zu, daß dichte Hornskelette entstehen.

Die Skelette der Madreporaria bestehen aus 3 bis 8% organischer Substanz mit Spuren von Si, Mg, Fl, P und Fe und 95 bis 97% Aragonit.

Die Echinodermen scheiden in ihrem Gewebe netzartig löcherige Gebilde von sehr verschiedener Anfangsgestalt aus, die sich dann zu den bekannten Skelettafeln vergrößern. Sie bestehen aus Kalkspat mit 86.4% $CaCO_3$, 8,5% $MgCO_2$ und 1,7% $CaSO_4$.

Ausnahmslos entspricht jede Kalktafel, mag ihre äußere Form noch so verschieden sein, je einem Calcitkristall. Durch diagenetische Umlagerung wird die Tafel rasch spätig und dann findet man, daß die Hauptachse des Rhomboeders mit der morphologischen Hauptachse der Stacheln, Trochiten oder Asseln übereinstimmt.

Die Schale der Muscheln wird bekanntlich vom Mantelrand ausgeschieden und besteht aus drei grundverschiedenen Schichten, der hornigen Epidermis, der darunter liegenden Prismenschicht und der inneren Perlmutter- oder Porzellanschicht. Diese beiden aus Kalk bestehenden Schichten sind optisch bei verschiedenen Gattungen entweder als Kalkspat (k) oder als Aragonit (a) anzusprechen.

	Prismen	Perlmutter
Pinna	k	a
Mytilus	k	a
Avicula	k	a
Pecten		k
Ostrea	k	k
Anodonta	a	a
Magaritana	a	a

Aber Rubbel hat gezeigt, daß dieselben Außenepithelzellen des Mantels fähig sind, abwechselnd Perlmutter, Periostrakum und Prismenschicht zu bilden.

Die Schale der Schnecken besteht vorwiegend aus Aragonit.

Im Gegensatz zu den Muscheln ist bei den meisten Brachiopoden die Schale von zahlreichen feinen Löchern durchbohrt, in welche zapfenartige Fortgänge des Mantels eindringen; sie fehlen den Rhynchonellen. Die Schale der Articulata besteht aus Kalkspat, die der Inarticulata aus mehreren abwechselnden Schicht von Kalkkarbonat und Kalkphosphat.

Am verwickeltsten und mannigfaltigsten ist die Bildung von Stützgeweben bei den Wirbeltieren. Neben den hornigen Schuppen, Federn, Haaren und Hautplatten, die vorwiegend als Schutz gegen Temperatureinflüsse dienen oder als Angriffs- und Verteidigungswaffe umgebildet sind, wird das Muskelsystem durch Knorpel oder Knochensubstanz gestützt.

Das Knorpelgewebe treffen wir bei den niedrig stehenden Fischen während des ganzen Lebens, bei den höheren Gruppen nur während der Jugend. Durch Ablagerung von Kalk entsteht verkalkter Knorpel. Bei den höheren Wirbeltiergruppen findet eine merkwürdige Zerstörung des embryonalen Knorpelgewebes statt und an seine Stelle setzt sich als völlige Neubildung das zunächst kalkfreie, dann kalkreiche Knochengewebe das ziemlich übereinstimmend aus 80 bis 87% Kalkphosphat, 1% Magnesiaphosphat und 7% an ClFl und CO_2 gebundenem Kalk sowie 6% CO_2 zusammengesetzt ist. Die ältesten Spuren desselben wies O. Hertwig in dem kleinen Sockel der Hautzähne bei den Selachiern nach, durch deren Verschmelzung größere mit Zahnspitzen bedeckte Knochenplatten entstehen. Da die Mundhöhle eine Einstülpung des Ectoderms ist, so wird auch sie von Kauzähnen ausgekleidet, die sich hier in besonderer Weise entwickeln und zu großen Gebilden heranwachsen können.

Die Oberfläche der primitiven Schuppen (Placoidschuppen der Selachier und Schmelzschuppen des Ganoiden) sowie aller Zahnspitzen wird von der feinen, hellen, oft durchsichtigen, spiegelglatten, sehr harten Schmelzschicht bedeckt, die merkwürdigerweise in bestimmten Ablagerungen schwarz geworden ist.

Die Zähne karbonischer Raubfische, die Schuppen karbonischer, permischer und mittelzeitlicher Ganoiden heben sich durch ihre kohlschwarze Farbe vom roten oder weißen Gestein ebenso ab, wie die schwarzen Kauzähne der Placodus vom gelbgrauen Terebratelkalk. Dagegen sind die Zähne und Schuppen verwandter Fischgattungen im Solnhofer Plattenkalk hell geblieben. Der Vorgang dieser Dunkelung bedarf noch der Untersuchung.

Bekanntlich scheiden aber nicht alle Organismen verhärtende geformte Sekrete ab; groß ist die Zahl der Pflanzen wie der Tiere, die ihre weichen Gewebe auf anderem Wege bei der Bewegung unterstützen oder gegen Feinde schützen. Lufterfüllte Räume und besondere hydrostatische Apparate ermöglichen zahlreichen Formen des offenen Wassers an der Oberfläche oder in bestimmten Tiefen zu schweben. Auch die am Boden angehefteten Tange, Algen und höheren Wasserpflanzen flottieren im Wasser und liegen nur bei Ebbe am Boden.

Viele in großer Zahl wachsende Pilze, Algen und Flechten vergehen ebenso rasch wie sie entstanden sind und nur ihr verwesender Schleim durchsetzt als chemisch wirksame Flüssigkeit den Boden. Ungeheure Schwärme weicher Infusorien, Flagellaten und Spongien, nackter Pteropoden, Würmer, Copepoden und Phyllopoden erfüllen die Meere und dienen anderen Tieren zur Nahrung oder erzeugen beim Absterben spiegelnde Ölschichten auf der Fläche des Ozeans.

Alle diese Gruppen fallen ganz aus dem Rahmen der geologisch erhaltungsfähigen Formenkreise und bedingen zunächst eine andere Zusammensetzung des paläontologischen Systems gegenüber den systematischen Gruppen, welche in der Botanik und Zoologie Geltung haben. Diese Verarmung der paläontologisch erhaltungsfähigen Formen wird allerdings durch glückliche Einzelfunde gemildert und durch die so ungemein formenreichen völlig ausgestorbenen Gruppen, wie Archaecyathiden, Tabulaten, Graptolithen, Stromarien, Trilobiten und zahlreiche Wirbeltierordnungen völlig ausgeglichen, aber dennoch müssen wir bei paläobiologischen und systematischen Betrachtungen diese Verschiebung des Tatsachenmaterials stets berücksichtigen.

Eine Gegenüberstellung der nur rezenten Weichtiere, der nur fossil bekannten Gruppen, der rezent und fossil bekannten skelettbesitzenden Ordnungen und der völlig ausgestorbenen läßt den Gegensatz einer nur zoologischen oder rein paläontologischen Systematik leicht überschauen:

Ordnungen:	nur rezent:	rezent und fossil:	nur fossil:
Rhizopoda	3	2	—
Flagellata	3	1	—
Infusoria	9	—	—
Sporozoa	1	—	—
Porifera	2	3	2
Anthozoa	1	2	5
Hydrozoa	2	2	1
Scyphozoa	4	—	—
Ctenophora	2	—	—
Tabulata	—	—	1
Graptoloidea	—	—	2
Medusen	2	1	1
Pelmatozoen	—	3	8
Asterozoa	—	2	2

Ordnungen:	nur rezent:	rezent und fossil:	nur fossil:
Ophiuroidea	2	1	—
Echinoidea	—	2	3
Holothuroidea	1	1	—
Würmer	10	2	10
Bryozoa	2	2	3
Brachiopoda (Familien)	—	8	27
Muscheln (Familien) .	—	37	17
Scaphopoden	—	1	—
Amphineura	1	1	—
Schnecken	1	6	—
Pteropoden	—	1	—
Hyolithidae	—	—	1
Tentaculitidae . . .	—	—	1
Torellellidae	—	—	1
Conularidae	—	—	1
Nautiloidae (Familien) .	—	1	3
Ammonoidea (Familien)	—	—	35
Belemnoidea	—	4	2
Entomostraca	1	3	2
Trilobitae (Familien) .	—	—	18
Malacostraca	1	6	2
Merestomata	—	1	3
Arachnoidea	—	9	3
Protracheata	1	—	—
Myriapoda	—	2	2
Insecta	—	23	7
Fische	2	7	8
Amphibien	1	2	5
Reptilien	—	5	16
Vögel	1	15	3
Säugetiere	—	18	15

Es würde demnach ein Zoolog, der bei der systematischen Gruppierung das fossile Material völlig unberücksichtigt ließe, sich auf etwa 230 Gruppen beschränken, während ein Paläontolog, der in gegewohnter Weise die rezent und fossil bekannten Formenkreise berücksichtigt, über 400 Gruppen in seinem System vereinigen kann.

Dieser Vorteil der paläontologischen Betrachtung bei der systematischen Anordnung wird aber ganz wesentlich erhöht durch die Tatsache, daß alle fossilen Gruppen nicht nur morphologisch untersucht werden können, sondern gleichzeitig mit großer Sicherheit in ihrer chronologisch erdgeschichtlichen Verteilung zu überschauen sind. So lassen sich die geologisch älteren Ahnen von den späteren Nachkommen leicht unterscheiden und ihre phylogenetische Anordnung im zusammenhängenden Stammbaum eindeutig verfolgen.

Nur in einem Gebiet der Phylogenie muß der Paläontologe zurücktreten und die Führung dem vergleichend anatomisch und ontogenetisch

arbeitenden Zoologen überlassen: bei der Untersuchung der ältesten Stadien der Tierstämme und ihrer gegenseitigen Verwandtschaft.

Gerade die Entwicklung der Hartgebilde jeder Tierform läßt deutlich erkennen, daß die ersten embryonalen Entwicklungsstadien nur aus weichen, nicht erhaltungsfähigen Zellen und Geweben bestehen. Dann folgt eine zweite Phase, in der zwar geformte Sekrete ausgeschieden und zu elastischen Stützelementen verbunden werden, aber ohne daß diese durch Einlagerung von mineralischen Skleriten verstärkt sind, und erst auf einer dritten Stufe der Entwicklung fügen sich diese zu verhärteten, geschlossenen Schalen, Panzern und Skeletten zusammen.

Es ist naheliegend, anzunehmen, daß auch die geologische Reihenfolge der Bildung erhaltungsfähiger Hartgebilde diese verschiedenen Teilabschnitte durchlaufen hat, und daraus folgt, daß wir niemals auf rein paläontologischem Wege die ältesten Formen des irdischen Lebens und ihre Verwandtschaftsbeziehungen werden prüfen können.

Literatur

Biedermann, W., Physiologie der Stütz- und Skelettsubstanzen (in Winterstein, Handbuch der vergl. Physiologie, Jena 1914, I, S. 319—1188), enthält eine kritische Übersicht und Zusammenstellung der gesammten Sonderliteratur.

18. Die nachträglichen Veränderungen der Fossilien

Sobald ein Tier oder eine Pflanze gestorben ist, machen sich sofort verändernde und zerstörende Einflüsse geltend und die meisten Weichtiere verschwinden aus ihrem Lebensraum. Aber auch die weichen Gewebe der skelettbildenden Formen sind vergänglich; nur selten erfolgt der Tod unter so günstigen Umständen wie in der Lagune von Solnhofen, daß die Federn der Urvögel und das Muskelfleisch der Fische im feinen Kalkschlamm erhalten bleibt.

Alle gegliederten oder gelenkig verbundenen Hartgebilde zerfallen nach dem Tode. Die Asseln und Stacheln der Seeigel, die Trochiten und Kelchglieder der Crinoiden, die Klappen der Brachiopoden und Muscheln, die Segmente der Krebse, wie die Schuppen und Knochen der Wirbeltiere gleiten auseinander, werden von den Meereswellen zerlegt und lassen sich oft nur mühsam wieder zusammenordnen.

Am Boden der heutigen Meere spielen die aasfressenden Krebse und Fische als Gesundheitspolizei eine wichtige Rolle, und wo sie leben, kann keine unzerbrochene Muschel oder Schnecke, kein zusammenhängender Krebs oder Fisch erhalten bleiben. Die Decapoden und Knochenfische treten allerdings erst im Jura auf. In den vorher verflossenen langen Zeiträumen muß diese reiche Nahrungsquelle zerfallender Tierleichen von anderen Tieren benutzt worden sein. Vielleicht haben die Haie und Ganoiden diese Aufgaben erfüllt; denn die Trilobiten hatten keine Kiefer, und die so vollkommene Erhaltung der Eurypteriden

dürfte damit zusammenhängen, daß sie in salinischen Schlammtümpeln lebten oder zur Einbettung kamen — ihre plumpen Scherenfüße waren jedenfalls für das Zerzupfen von Leichen nicht geeignet.

Aber auch die unverweslichen und unzerstörbaren Hartgebilde werden rasch verändert. Zunächst verschwindet die organische Grundsubstanz, in der die kalkigen oder kieseligen Skleriten ausgeschieden und eingebettet waren. Da sie auch die Färbung der Schalen bedingt, werden die Fossilien meist farblos, und nur vereinzelte Funde lassen die bunte Pracht ahnen, die auch die Meere der Vorzeit belebte.

Die Hüllen der Graptolithen bestanden aus einer Grundmasse, die leichter erhalten blieb, aber doch sehr verschiedenartige Umwandlungen erlitt. Bald sind sie in eine kohlenähnliche Substanz, bald in ein weißes, talkartiges Mineral (Gümbelit) verwandelt, andere bilden den Kern von Kalk- oder Phosphoritknollen, oder sind sogar von Feuerstein umgeben, bei dessen Lösung mit Flußsäure die Kolonien völlig freigelegt werden können.

Dagegen war das Chitinskelett der silurischen Eurypteriden so widerstandsfähig, daß es bis heute fast unverändert geblieben ist.

Das Harz der Bernsteinfichte hat uns nur ganz vereinzelt Überreste der Bäume des Bernsteinwaldes überliefert; es umhüllte aber zarte Blüten und Insekten, deren Masse nachträglich in Gase verwandelt wurde, so daß die „Inclusen“ nur leere Hohlräume sind, die als Luftblasen aufsteigen, wenn man das Harz auflöst.

Mit dem Verschwinden der organischen Grundsubstanz ist häufig eine weitgehende molekulare Umlagerung verbunden. Die Nadeln der Pharetronen verwandeln sich in „Faserzüge“, die Kelche der Korallen und die Röhren der Tabulaten werden klingend hart.

Die Stromarien ebenso wie die Kalkalgen neigen zu einem raschen Zerfall ihres kalkigen Parenchyms. Im silurischen Kalk von Visby wie im Mitteldevon bei Gerolstein kann man die Verwandlung der blätterigen Stromarien in zuckerkörnigen Kalk verfolgen.

An den 60 m hohen Aufschlüssen durch die Algenkalke von Syrakus sieht man, wie sich in ähnlicher Weise nicht nur der äußere Umriß, sondern auch das Gewebe der Lithothamnien auflöst und in dichten Kalk verwandelt.

Seit langem ist die Umlagerung in den Kalkplatten der Echinodermen bekannt. Ihr feinmaschiges, zartes und weiches Gewebe verwandelt sich rasch (und zwar unter Erhaltung der mikroskopischen Struktur) in spätigen Kalkspat, dessen Achsen morphologisch orientiert sind. Selbst wo ein Kelchglied von Solanocrinus abnorm in zwei Stücke zerlegt war, änderte sich in harmonischer Weise die Richtung der Kristallachsen. Nicht minder merkwürdig ist es, daß die Außenseite der Asseln der Seeigel und die Kelchglieder der Crinoiden äußerlich auch in diesem kristallinischen Zustand ihre organische Form behalten, während sie

gegen den Innenkörper mit Kristallflächen weiter wachsen. Auch die Cystoideen, die doch ursprünglich nur eine dünne Hohlkugel bildeten, verwandeln sich in radialfaserige Kalkspatkugeln, in deren Mittelpunkt sich die von der Innenwand wachsenden Kristalle mit spitzem Ende treffen.

Im ägyptischen Eocän ist die Gattung Graphularia verbreitet, die bei ihrer Entdeckung zunächst wegen ihres radialfaserigen Querschnittes für einen Belemniten gehalten wurde. An vollständigen Stücken konnte aber Zittel zeigen, daß es sich um die Achse einer Pennatulide handle, die durch den Fossilisationsvorgang belemnitenähnlich geworden ist. Ich habe vielfach rezente Alcyonarienachsen untersucht, die aus einer hornigen, nur wenig verkalkten Grundmasse bestehen und keinerlei Ähnlichkeit mit Belemniten haben. Es muß also die bezeichnende „Belemnitenstruktur" durch eine spätere Umlagerung und Verkalkung erzeugt werden. Ich schließe daraus, daß auch das Rostrum der Belemniten im Leben ebenso hornig war wie der ihm morphologisch entsprechende Stachel der Sepiophora und erst nachträglich hart und schwer geworden ist.

Wir haben im vorigen Abschnitt gesehen, daß fast alle kalkigen Hartgebilde eine ganz bestimmte molekulare Struktur besitzen und beim Ätzen mit verdünnten Säuren oder im Dünnschliff leicht Kalkspat und Aragonit unterscheiden lassen. Trotz der verschiedensten äußeren Form werden diese Strukturen innerhalb bestimmter Gruppen regelmäßig vererbt und beeinflussen sehr die weiteren Schicksale der Fossilien.

Aber alle kalkigen Conchilienschalen stimmen darin überein, daß sie bei der Fossilisation ihre weiche Beschaffenheit verlieren und klingend hart werden. Hand in Hand damit geht eine geringe Zunahme des spezifischen Gewichts. Die sich hierbei abspielenden Vorgänge verlangen noch eingehende Untersuchungen. Sie verlaufen verhältnismäßig sehr rasch, denn die Korallen, Schnecken und Muscheln, die ich in den kaum dem Meere entstiegenen Saumriffen der Sinaiküste und der Palksstraße sammelte, sind nicht nur alle entfärbt, sondern auch härter und schwerer geworden, als die am Ufer herumliegenden rezenten Exemplare derselben Arten.

Der Perlmutterglanz von fossilen Mollusken ist an manchen Fundorten auffallend gut erhalten. Die Fossilien der schwäbischen Opalinusschicht, der Kreide von Dakota und von Kaschpur an der Wolga sind bekannte Beispiele; aber selbst im obersilurischen Kalk von Gotland sammelte ich perlmutterglänzende Schneckenschalen.

Sehr wenig geklärt ist die Frage nach der Entstehung der sogenannten Tripel- oder Kieselgur-Ablagerungen. Seitdem sie Ehrenberg mikroskopisch untersuchte, sind keine Zweifel an ihrer rein organischen Entstehung laut geworden. Allein in den Polierschiefern von Bilin konnte ich keine Spur von Diatomeen oder Radiolarien erkennen.

Noch viel merkwürdiger ist der Fossilgehalt im Tripel von Caltanisetta in Sizilien, der zwischen Gips- und Schwefelschichten eingelagert, aus einem seltsamen Gemisch von Pflanzenblättern, Kalkresten, Süßwasserfischen, marinen Flachseediatomeen und Radiolarien der Tiefsee besteht. Seine Bildung läßt sich etwa vergleichen mit den Umständen in der Hafenbucht von Messina, wo bekanntlich eine aufsteigende Tiefseeströmung die Radiolarien, Medusen und Fische aus großer Tiefe nach oben bringt, wo sie sich mit Apfelsinenschalen, Flaschenkorken und der ganzen Lebewelt der Flachsee mischen.

Der Kieselgur von Oran bildet meist lockere, bis 2 m mächtige Schichten, die mit Tonzwischenlagen hohe Profile aufbauen und vielfach sogar tektonisch gestört erscheinen. Stremme untersuchte 13 Proben von Handelsgur und fand nur in einer derselben Diatomeen, alle anderen bestanden aus feinstem Quarzpulver ohne jede organische Spur. Vielleicht zerfallen die Diatomeenpanzer, sobald sie in größerer Menge fossil werden, in ähnlicher Weise wie organische Kalkschalen und Pflanzengewebe rasch zu einem amorphen Pulver. Das würde auch erklären, weshalb wir keine vortertiären Diatomeen kennen.

Viele Veränderungen von Fossilien können wir nur dann richtig beurteilen, wenn wir im Auge behalten, daß sie Einschlüsse in großen Gesteinsmassen sind, deren Schicksal auch die ihrigen bestimmt.

Nur selten behalten frisch gebildete Ablagerungen alle ihre ursprünglichen Eigenschaften. Der präkambrische Ton von Petersburg ist ein klassisches Beispiel dafür, wie ein mariner Schlamm durch die ganze Erdgeschichte hindurch unverändert bleibt. Aber gerade hier läßt sich zeigen, daß es nicht die Zeit ist, welche den fossilen Gesteinen ihre Härte und manche andere neuen Eigenschaften aufprägt, sondern nur besondere, räumlich und zeitlich begrenzte Vorgänge. Dieselben schließen sich in manchen Fällen so eng an die Bildungsvorgänge an, daß man sie von ihnen kaum trennen kann. Andere treten nur ein, wenn die Umstände der Bildung durch anders geartete Bedingungen abgelöst werden.

Diese nachträglichen Veränderungen der Gesteine und ihrer organischen Einschlüsse fassen wir, sofern sie nicht durch tektonischen Druck oder die Einwirkung der Pyrosphäre veranlaßt werden, unter dem Namen der Diagenese zusammen. Die wichtigste Voraussetzung für die diagenetische Veränderung fossiler Ablagerungen besteht in ihrer Überlagerung durch neugebildete Massen. Sie werden dadurch auf dem Festland dem Einfluß des solaren Klimas, am Meeresgrund der mechanischen, thermischen und chemischen Einwirkung des bewegten Wassers entzogen, und diese Umstände treten natürlich besonders leicht am Boden einer Sammelmulde ein.

Um die Vorgänge der Diagenese recht zu verstehen, müssen wir an die Erfahrungen des Bergbaues denken, wo mit zunehmender Tiefe

die Wasserführung und der Wasserdruck zunimmt und künstlich gebildete Lücken (Schächte und Strecken) sich wieder zusammenzuschließen bestrebt sind.

Entscheidend ist also die Mächtigkeit der im Hangenden einer fossilführenden Schicht abgelagerten Massen. Wenn eine mit Kalkresten erfüllte Sandsteinbank von 100 m Letten überlagert wird, dann nimmt ihre Temperatur nur um wenige Grad zu; baut sich aber über dem Röt eine Schichtenfolge von 2000 m Muschelkalk, Keuper und Juragesteinen auf, dann geraten die fossilführenden Bänke in eine Temperaturzone von 100°, und wenn das schlesische Oberdevon von 7 km Karbon überlagert wird, dann erfolgen die diagenetischen Vorgänge darin bei mindestens 200°.

Je weiter eine fossilreiche Schicht in die Tiefe sinkt, desto höher steigt die Temperatur; aber der Verlauf der Wärmelinien im Gotthard- und Simplongebiet hat gezeigt, wie sehr die Wärmeverteilung in demselben Stück Erdrinde schwankt und wie leicht nebeneinander in derselben Tiefe Temperaturinseln auftreten können. Kommen tektonische Bewegungen hinzu oder treten eruptive Gase und Magmen auf, dann entsteht jene große thermische Mannigfaltigkeit der Tiefenzone, die eine Fülle von chemischen und physikalischen Vorgängen in dem Gestein und natürlich ebenso sehr in seinem Fossilgehalt hervorruft.

Indem wir von oben nach unten die Schicksale der in einer sinkenden Sammelmulde frisch gebildeten Ablagerungen verfolgen, beobachten wir meist unter dem Einfluß der bewegten warmen Lithose eine Auslaugung der löslichen Bestandteile.

Marine Gesteine werden entsalzt, aber auch Kalk ist leicht löslich, und da die meisten Hartgebilde aus leichtlöslichem Kalk bestehen, ist es kein Wunder, daß in frischgebildeten Ablagerungen ebenso rasch eine Auflösung von vielen Kalkresten erfolgt. Von den meisten in Tonschiefer oder Quarzit eingebetteten Fossilien sind nur Hohlräume übrig, deren Außenseiten als Abdrücke bezeichnet werden, während die Ausfüllung hohler Fossilien als Steinkerne bekannt sind. Daß nur die ersteren für eine Artbestimmung in Frage kommen, ist leicht verständlich, denn die Arten unterscheiden sich vornehmlich durch die Skulptur ihrer Außenseite.

Durch Abformen des Abdrucks mit Guttapercha, Siegellack oder Plastilin kann die ursprüngliche Oberfläche des Fossils wieder hergestellt und die Bestimmung erleichtert werden. Manches zunächst nur als Steinkern bekannte Fossil (wie Pleurodictyum problematicum oder Kerunia) konnte erst richtig gedeutet werden, nachdem positiv erhaltene Exemplare gefunden waren.

Natürlich müssen wir solche Fälle, wo die Auflösung erst an der verwitternden Erdoberfläche erfolgte, durch den Vergleich mit Bohrkernen aus tieferen Zonen ausschalten.

Die Auflösung von Kalkresten beginnt schon im flachen Wasser und steigert sich mit zunehmender Tiefe des Meeres. Hierbei erfolgt eine gewisse Auslese. Von großen Riesenhaien bleibt am Boden der heutigen Tiefsee nur die Schmelzschicht ihrer Zähne übrig, von gewaltigen Walen findet man nur die massiven Felsenbeine, von Knochenfischen nur die Otolithen. Die Schalen niederer Tiere verhalten sich so verschieden, daß der sammelnde Paläontologe besonders auf halbgelöste Reste achten muß, wenn er den Fossilgehalt eines bestimmten Gesteins vollständig überschauen will. Viele Glaukonitkörner bilden die Steinkerne von Foraminiferen, deren Kalkschale gelöst wurde.

In manchen Fällen muß die Auflösung organischer Schalenreste aber während ihrer Einbettung erfolgt sein. Im schwedischen Silur ist die obere Hälfte der großen Endocerasschalen aufgelöst, und da die Schalenränder keine Bißspuren erkennen lassen und auch räuberische Tiere unter den Lebensgenossen fehlen, muß die teilweise aus dem Schlamm herausragende Schale chemisch entfernt worden sein, bevor die Überlagerung des Hangenden erfolgte.

Oftmals scheint die Lösung erst in größeren Tiefen der Erdrinde stattzufinden. Die vielen, mit Kalkspatrinden erfüllten Spalten und die größeren Kalkspatgänge in tektonisch bewegten Gebieten zeigen ebenso wie die mit Kalkspatdrusen erfüllten Luftkammern der Nautiloiden und Ammoniten, wie leicht das Kalkkarbonat gelöst und wieder abgeschieden wird.

Sehr rasch erfolgt gleichzeitig oftmals die Verkittung von Kalkresten zu einem festen Netzwerk. Bei Sciacca an der Südküste von Sizilien wurde im Jahre 1875 eine große Bank von Edelkorallen entdeckt, die (wahrscheinlich durch eine vulkanische, submarine Eruption abgestorben) für den Korallenhandel der Fischer von Torre del Greco verhängnisvoll wurde. Denn man fand dort in bequemer Tiefe so ungeheure Mengen von roten Koralliumästen zusammen mit Dendrophyllia, Megerlea, Terebratula, Seeigelresten und Bryozoen, daß der Korallenmarkt mit diesem Material geradezu überschwemmt wurde. Aber die toten Korallen hatten ihren Glanz eingebüßt, die hornige Grundlage ihrer Skleriten war zerstört und so kamen mißfarbige Korallenperlen in solcher Menge auf den Markt, daß sie als Schmuckmaterial ganz entwertet wurden. Stücke von Sciacca, die ich in Neapel erhielt, zeigen, daß alle Hartgebilde innerlich verändert, klingend hart geworden und zu einem sehr festen grobmaschigen Netzwerk verkittet sind.

Auch in den junggehobenen Riffen längs der Sinaiküste und bei Ceylon sind gut verkittete Nester inmitten des lockeren Riffkalkes häufig.

Neben dem Kalk spielt Kieselsäure, Baryt, Eisensalze, ja auch Flußspat oder Cölestin eine Rolle bei der Zementierung von Trümmergesteinen. Erst neuerdings hat die Colloidchemie begonnen, diese Vor-

gänge zu untersuchen, aber viele sind noch nicht aufgeklärt. Die Tatsache, daß 0,25 % Zucker das „Binden“ von Portlandzement hindert, zeigt am besten, welche Bedeutung geringe Beimengungen in den Lösungen der Lithose haben.

In größerer Tiefe der Erdrinde kommt es sodann zu einer Wiederausscheidung des gelösten Kalkes.

Indem vadose und eruptose Lösungen auf vielverschlungenen Wegen in die frisch gebildeten Ablagerungen von oben und von unten eindringen und lithose Ströme von verschiedener Temperatur und Zusammensetzung sich begegnen, werden zuerst die schwerlöslichsten Teile aus dem Lösungsmittel ausgefällt.

Das Vorwiegen ausgedehnter horizontaler Schichten im Aufbau der Erdrinde bedingt es, daß auch die Mehrzahl dieser Fällungszonen horizontal eingeordnet und geschichtet ist. In wechsellagernden Schichtenfolgen sehen wir dabei oft in der einen Gesteinsschicht Kittsubstanzen ausgeschieden, die in der nächstfolgenden fehlen.

Für die Neuausscheidung von Stoffen und die damit zusammenhängende Verkittung spielt das Porenvolumen der Ablagerung eine entscheidende Rolle; denn je lockerer dieselbe ist und je rascher die Lithose sie durchwandern kann, desto weniger findet sie Zeit, Kittsubstanzen auszufällen, während feinkörnige Sedimente, in denen sich die Lithose nur säkular bewegen kann, leichter geändert werden.

Dieser Vorgang beginnt oftmals schon in der Oberschicht mariner Sedimente, in denen das „marine Grundwasser“ stagniert. Der graue Schlamm, der den Boden des Golfes von Neapel auskleidet und aus dem sich inselgleich die Abrasionsreste einzelner Vulkane mit ihrem reichen Tierleben und organischen Trümmerkalken erheben, ist zwar arm an hartschaligen Tieren, aber zahllose Weichtiere durchwühlen und durchsetzen ihn mit faulendem Gewebe und Pflanzenmoder. Als ich im Jahre 1885 mit P. Schirlitz dort arbeitete, fiel es uns auf, daß das Seewasser aus etwa 200 Meter Tiefe über dem Meeresgrund viel reicher an gelöstem Kalksulfat sei, als das Wasser, das man durch Auslaugen des direkt darunter befindlichen Schlammes mit destilliertem Wasser erhielt. Die basische Reaktion des Schlammes brachte Schirlitz auf den Gedanken, durch Einleiten von kohlensaurem Ammoniak in das Seewasser dessen Gehalt an Kalksulfat niederzuschlagen, und wir gewannen dabei rasch feinkristallinische Krusten von Kalkkarbonat. Dieser prinzipiell wichtige Versuch hat leider nicht die verdiente Aufmerksamkeit gefunden.

Im unteren Wellenkalk treten uns Kalkbänke entgegen, die durch ihre knotige Beschaffenheit und den Fossilmangel deutlich erkennen lassen, daß sie, im Gegensatz zu den aus zertrümmerten organischen Resten

gebildeten fossilreichen Einschaltungen, auf chemischem Wege entstanden sein müssen.

Auch bei der Bildung der Solnhofener Plattenkalke hat die chemische Ausscheidung von Kalk nachweisbar eine wichtige Rolle gespielt.

Unter dem Einfluß der absterbenden Weichteile entsteht innerhalb des neugebildeten Sediments ein feiner Verwesungsschleim, der allen Schlamm überzieht und durchzieht. Gleichzeitig aber sind die Poren der neugebildeten Ablagerungen mit Seewasser erfüllt, das in seinen Salzen neben den Chloriden hauptsächlich die Sulfate von Kalk und Magnesia enthält. Das Porenvolumen eines feinen Sandes oder Schlammes beträgt etwa 35—45 % der abgelagerten Masse. In einem Kubikmeter Tonschlamm sind also gegen 400 Kilo Seewasser mit chemisch wirksamen Stoffen enthalten.

Was wird aus diesen Lösungen, wenn sie zusammen mit verwesenden pflanzlichen (schwefelhaltigen) und tierischen (phosphorhaltigen) Geweben und Exkrementen in dem feinporigen Tonschlamm gefangen werden und mit ihm Jahrzehnte und Jahrhunderte in chemischer Reaktion steht? Groß ist sicherlich die Bedeutung der marinen Bakterien für diese Umwandlungen, aber auch mikrochemische und physikalische Vorgänge mögen dabei wirksam sein.

Daß die Chloride als Vermittler chemischer Reaktionen hierbei eine große Rolle spielen können, bedarf keiner näheren Begründung — aber die Vorgänge selbst sind noch völlig unbekannt.

Der so entstandene feinverteilte Kalkgehalt wird ebenso leicht wieder gelöst und in Schwülen (Konkretionen, Kalkknoten und Knotenzügen) ausgeschieden.

So haben riesige Kalklinsen im kambrischen Alaunschiefer des Kinnekullen die Mächtigkeit der Schiefer um das Dreifache gesteigert. Die Herkunft dieser chemisch ausgeschiedenen Kalkmengen ist schwer zu erklären. Aus dem liegenden Eophytonsandstein können sie ebensowenig stammen, wie aus dem Grundgebirge. Die hangenden Vaginatenkalke sind selbst reich an chemisch ausgeschiedenem Kalk und können die riesigen Kalkknollen daher nicht geliefert haben. So bleibt nur das kambrische Seewasser als Quelle des Kalkes und die Verwesungsvorgänge im Schlamm als Ursache dieser auffallenden Bildung.

Der blaue Ockerkalk im thüringischen Obersilur trägt ebenso wie die oberdevonischen Knotenkalke die deutlichsten Zeichen dafür, daß seine Kalkknoten nach Ablagerung des Tonschlammes chemisch ausgeschieden worden sind. Sie umschließen so oft Fossilien, daß eine vorherige Auflösung von Kalkschalen, deren Menge die Kalkknotenmasse liefern konnte, ausgeschlossen erscheint.

Die wieder ausgeschiedenen Schwülen wachsen nicht in einem Hohlraum, sondern mitten in der noch weichen Gesteinsmasse von einem Kern aus, der nicht immer ein fester Fremdkörper, sondern oft nur ein chemisch

differenter Punkt ist. Fische oder Krebse, deren lockerer Hautpanzer leicht zerfällt, Muscheln, Seeigel, Belemniten oder Brachiopoden bilden den Ausgangspunkt für die Abscheidung von Kalk, Kieselsäure, Eisensalzen, Kupferkies, Schwefelkies und anderen Stoffen, die mit zonarem Bau, oder durchaus homogen, zu großen rundlichen Massen heranwachsen können.

Wie die Erznierenschiefer von Goldlauter und Lebach zeigen, muß die Bildung der Konkretionen so rasch erfolgt sein, daß die Leichen der Tiere nicht zerfallen konnten. Ein rezentes Beispiel hierfür lernte lich bei Port Darwin in Nordaustalien kennen. An den Wurzeln der Mangrove, die das sumpfige, tropische Küstengebiet bewachsen, hängen vielfach die Panzer von Krebsen, die unter besonderen Umständen gestorben sind, umgeben von einer grauen Kalkmasse, die einige Krebse so weit umhüllte, daß nur noch ein Teil der Scherenbeine herausragt. Ich fand leider keine Gelegenheit, den Ort dieser rezenten Kalkausscheidung aufzusuchen, aber die Stücke, die ich durch den Staatsgeologen Dr. Jensen und einige Herren der Kolonie erhielt, zeigen deutlich das rasche Vorschreiten des Verkalkungsvorgangs in einem Klima, das eine mittlere Temperatur von 25—35° und während zweier Monate eine Regenhöhe von 160 cm, dann aber 10 völlig regenlose Monate mit hoher Verdunstung hat.

Tonige Ablagerungen, in denen große Mengen von Pflanzen vermoderten, werden mit Schwefelverbindungen angereichert, die als Schwefelkies ausgeschieden, auch dann übrig bleiben, wenn die Kalkschalen selbst später aufgelöst werden. Die Echinodermen und Cephalopoden von Bundenbach und viele ähnliche verkieste Steinkerne sollten von diesem Gesichtspunkt aus untersucht werden. Die Oberfläche der Steinkerne von Schwefelkies erscheint durch die darin haftenden Schüppchen der Perlmutterschicht oft silberglänzend; wenn sie durch Tagewässer oxydiert wurden, erhalten sie einen bronzeartigen Glanz („Goldschnecken" des süddeutschen Doggers).

In Foraminiferenkammern scheidet sich am Meeresboden leicht Glaukonit ab, wenn in dem betreffenden Gebiet durch sich begegnende kalte und warme Strömungen große Mengen von Plankton absterben. So entstehen heute an der Ostküste von Nordamerika wie im Süden des Kaplandes und bei Japan Grünsande auf organischer Grundlage.

In ähnlicher Weise treten die phosphorhaltigen Verbindungen zu Phosphoritknollen zusammen und erhalten die zartesten Graptolithen ebenso wie große Haifischzähne.

Die Umstände, welche die Wachstumsform der Schwülen bestimmen, sind noch völlig unaufgeklärt. Zwischen den Millionen von elliptischen Feuersteinknollen am Strande von Jasmund sieht man nur eine kleine Zahl kugelig gestaltete; Hunderte muß man zerschlagen, ehe man eine Spongienspur entdeckt.

Die Augensteine aus dem Eozän von Thelen bestehen regelmäßig aus einer Kugel, um die ein runder, ebenso breiter Kieselring geschlungen ist; ganz vereinzelt findet man dazwischen Kugeln ohne Ring oder Doppelringe.

Vom Djebl Set am Roten Meer bis nach der Großen Oase in der libyschen Wüste ist eine untereozäne Kalkbank durch melonenförmige Kieselbrote ausgezeichnet, die bis 1 m im Durchmesser haltend zu Millionen über die Hamada-Fläche verteilt sind.

Die Kieselschwülen in den Oberalmer Schichten des Salzkammergutes bilden langgestreckte, oftmals vergabelte Wülste, während im Malm bei Trient knollige Massen von unregelmäßiger Gestalt oft mitten durch die Schichtenebene von einer Kalkbank in die hangende Bank hineingewachsen sind.

Die Formen der Lößkindel wechseln regional. Sie gleichen manchmal wirklich einer „Puppe“, während andere an die Brillensteine des Imatrafalls erinnern. Unter den zahllosen Kalkschwülen, die hier in einem diluvialen Beckenton chemisch ausgeschieden wurden, sind vereinzelte Stücke bemerkenswert, die sich mitten auf einer Verwerfung gebildet haben.

Eigentümliche Spannungszustände verraten innerlich gesprungene Schwülen, wie sie nicht nur in den Septarien des Mitteloligozän, sondern ebenso in den Archegosaurier-führenden Schwülen von Lebach, den fischreichen Erznieren von Goldlauter und manchen Lößkindeln beobachtet werden. Eine Septarie ist eigentlich eine von innen her gesprungene Schwüle, die durch Ausscheidung von Kristallen auf den Spalten zu einer Druse geworden ist, also: eine Sekretion in einer Concretion.

Auch die Beziehungen zwischen der Form von fossilführenden Schwülen und ihrem Fossilgehalt bedürfen noch genauerer Untersuchung. Fußgroße Schwülen im Kambrium des Kinnekulle enthalten Hunderte von Agnosten, ähnlich wie zahlreiche Fischotolithen die Schwülen des Stettiner Sandes erfüllen.

Während die Concretionen oder Schwülen nur innerhalb einer noch nicht verfestigten Gesteinsmasse von einem Kern aus durch Auflagerung wachsen und daher ihre Außenschicht die jüngste Bildung darstellt, gilt das Umgekehrte von den Sekretionen oder Drusen. Ihre Bildung setzt einen im festen Gestein vorhandenen Hohlraum voraus, dessen Wandbelag zuerst, dessen Kern zuletzt entstand.

Ob mikroskopische Poren im Gestein mit Wasser erfüllt zur Ausscheidung von Kittmasse führen oder eine große Höhle mit Sinterkrusten ausgekleidet wird, beruht grundsätzlich auf denselben Vorgängen.

In Gegensatz zu der Vadose, deren Bewegungen nur von der Schwere bestimmt wird und daher nur von Berg zu Tal wirken kann, bewegt sich die unterirdische Lithose unter dem Einfluß der Kapillarität

und der Diffusion innerhalb der lockeren Ablagerungen so langsam, daß jeweils die am schwersten löslichen Verbindungen ausfallen. Deshalb werden Gesteine häufiger durch Kieselsäure oder Schwerspat verkittet als wie durch Kalk oder Gips, und das in marinen Gesteinen ursprünglich so häufige Seesalz hält sich nur in der Wüste in den Zwischenräumen der Gesteine als porenerfüllendes Mineral.

Als eine Art des Porenvolumens müssen wir die hohlen Fossilien (Foraminiferenkammern, Spongienkanäle, Tabulatenröhren, Korallenkelche, der Hohlraum von Receptaculiten, Crinoiden, Cystoiden, Echiniden, geschlossene Doppelschalen von Brachiopoden und Muscheln, gewundene Schneckenschalen, Luftkammern der Cephalopoden und die Knochenräume im Wirbeltierskelette) betrachten. Sie werden ebenso wie eine Gesteinsspalte oder eine vulkanische Dampfblase mit Mineralkrusten erfüllt.

Es ist klar, daß in einem mit zerbrochenen Kalkresten erfüllten Gestein solche Hohlräume leicht mit Kalkspatdrusen erfüllt werden. Bei der späten Dolomitisierung, Vergipsung, Verkieselung oder Verzerzung wurde der Kalkspat oft weiter verändert.

Besonders wird der Paläontologe diese Vorgänge an gekammerten Cephalopodenschalen untersuchen können. Denn nur am Steinkern können sie genau bestimmt werden, weil die Sutur der Scheidewände erst sichtbar wird, wenn die äußere Schale entfernt wurde.

Die Wohnkammer ist natürlich immer mit dem umgebenden Sediment erfüllt, das bei weitem Sipho auch in die Luftkammern eindringt. Aber in der Regel war die Schale mit Luft erfüllt und trieb solange an der Meeresoberfläche umher, bis Wasser eindrang und sie langsam wieder zu Boden sank. Noch heute sind diese Hohlräume oftmals leer, andere wurden mit zarten Kristalldrusen ausgekleidet, die, gegen den Mittelpunkt der Kammer weiterwachsend, diese endlich ganz erfüllten. Es kommen außer den Kalkspatdrusen auch solche von Schwefelkies, Kupferkies, Bleiglanz und Kieselsäure vor, und es fragt sich, ob diese Mineralien schon ursprünglich ausgeschieden oder als Pseudomorphosen später umgewandelt wurden.

Sie geben die ursprüngliche Form des Fossils oftmals nur undeutlich wieder; so sind die „Lithodendren“ in den alpinen Riffkalken zwar Zeichen für die Bedeutung der Korallen bei deren Entstehung, entziehen sich aber jeder genauen Bestimmung.

Die in Asphalt oder Graphit abgeformten Fossilien sind im strengen Sinne nicht in dem betreffenden Mineral „versteinert“, sondern nur von ihm ersetzt worden.

Eine verwickelte Frage ist die Vergipsung von Kalkresten. Bei Kaschpur an der Wolga sind Ammoniten und Belemniten durch Zersetzung von Schwefelkies umgewandelt worden, aber in anderen Fällen können wir diese Ursachen nicht annehmen.

Am Ufer des Roten Meeres sind einzelne Korallenriffstrecken entweder mit ihrem gesamten Fossilgehalt in feinkrümeligen, erdigen Gipsit verwandelt, der manche Kalkberge mit einer merkwürdigen Decke überzieht; andere bestehen, bei völlig erhaltener organischer Struktur, aus kristallinisch durchsichtigem Alabaster. Einige besonders schöne Stücke sammelte Dunn nördlich von Suakim. Es handelt sich um Reste von Schnecken, Muscheln und Riffkorallen, deren organische Formen in trüben, feinkristallinischen Gips verwandelt sind, während die einst kalkige Ausfüllung des Schalenhohlraums und die kalkige Füllmasse zwischen den Korallenkelchen aus durchsichtigem, gelbem Gipsspat besteht.

In Ergänzung meiner eigenen Studien am Ufer des Roten Meeres haben die Untersuchungen von Natterer gezeigt, daß das salzreiche Seewasser durch die auf die Küstengesteine wirkende Sonnenhitze in die Uferfelsen hineingesaugt wird. Während das Wasser in der trockenen Wüstenluft chemisch rein abdestilliert, erfolgen in den kalkigen Gesteinen molekulare Umwandlungen und metasomatische Veränderungen unter dem Einfluß des Wüstenklimas.

Auch bei der Dolomitisierung spielt das aride Klima eine wichtige Rolle. Werden doch manche Korallenriffe am Ufer des Roten Meeres sehr rasch in normalen Dolomit verwandelt. Besonders lehrreich war mir der Fund einer großen Tridacna mitten im Dolomit des Hammam Musa, deren Schalenmasse aus 45 % $CaMgO_4$ bestand. Hier ist also eine ursprünglich aus Kalkkarbonat bestehende Schale nachträglich durch Zufuhr von Magnesiakarbonat dolomitisiert worden.

Ganz anderer Art sind die Vorgänge und Ursachen, die zur Verkieselung fossiler Kalkreste führen. Die landläufige Meinung geht von der Tatsache aus, daß die im heutigen Seewasser enthaltenen Spuren von Kieselsäure nur auf organischem Wege durch Diatomeen, Radiolarien und Spongien ausgeschieden werden können. Wo man daher chemisch abgeschiedene Kieselsäure als Kieselknollen oder Kieselschiefer findet, nimmt man an, daß die Kieselsäure zunächst von kieselbildenden Organismen organisch ausgeschieden und aufgespeichert worden sei, dann wieder gelöst wurde und endlich ein zweites Mal chemisch zur Abscheidung kam. Findet man dann mehr oder weniger gut erhaltene Radiolarien- oder Spongienreste innerhalb dieser chemisch ausgeschiedenen Kieselmengen, dann scheint der Kreislauf hypothetischer Voraussetzungen geschlossen.

Wenn man die Verkieselung in manchem Silur- oder Kulmschiefer auch auf diesem Wege erklären könnte, so versagt doch das angeführte Hypothesengewebe angesichts der Verkieselung rotliegender Nadelhölzer, jurassischer Korallen oder der verkieselten Braunkohlenstämme und Knollensteine im Tertiär vollständig.

Die riesigen Mengen von Kieselsäure, die wir in der nordischen Schreibkreide antreffen, werden an Masse weit übertroffen, durch die noch viel größeren Kieselbrote in der nordafrikanischen Schichtenreihe, die ebenfalls an der Wende von Kreide- und Tertiärzeit gebildet worden sind,

Nach meiner Ansicht handelt es sich in diesen und ähnlichen Fällen um erdgeschichtliche Vorgänge ganz eigener Natur:

Wir müssen uns erinnern, daß zwar die fossilen organischen Einschlüsse gleichzeitig mit dem umhüllenden Gestein eingebettet wurden — daß aber die Verkieselungen zu den anorganischen Mineralbildungen gehören, deren Entstehung fast immer erst nach der Bildung der Gesteine erfolgt sein kann. Wie lange Zeit zwischen Gesteinbildung und Verkieselung verflossen ist, läßt sich nur durch vergleichende Betrachtung entscheiden. Ich habe den Eindruck, daß die altzeitlichen Verkieselungen vorwiegend in der Rotliegenden Zeit, die mittelzeitlichen in der unteren Tertiärzeit erfolgt sein müssen und daß es sich hierbei um Vorgänge handelt, die in der Gegenwart keine völlig entsprechende Parallele haben.

Am heutigen Meeresgrund beobachten wir nirgends eine chemische Ausscheidung von Kieselsäure — aber in der Vorzeit kann gelegentlich ein solcher Überschuß davon ins Meer gebracht worden sein, daß er dort zum Niederschlag kam; und während uns heute nur die eruptosen Thermen Vorgänge zeigen, die zur Bildung von Kieselsinter auf dem Festland führen, können früher auch in der Vadose große Mengen von gelöster Kieselsäure enthalten gewesen sein.

Bekanntlich ist die Bildung von Kaolinit in der Regel nicht nur mit der Wegführung von Eisen, sondern gleichzeitig mit dem Verschwinden der freien Kieselsäure aus den vertonten Gesteinen verbunden. Bei der Umwandlung des Porphyrs von Halle mußten aus jedem Kubikmeter Gestein gegen 50% SiO_2 entfernt werden. Da es sich hierbei um oberflächliche Verwitterungsvorgänge handelt, mußten solche Mengen gelöster Kieselsäure in die vadosen Gewässer gelangen, daß das Grundwasser der Sümpfe und Flußniederungen ebenso reich an Kieselsäure wurde wie das Meerwasser, in das solche verdünnte Lösungen strömten. Hierbei wurden Sande zu Knollensteinen verkittet und zu den Wurzeln der Sumpfzypressen in den Braunkohlenmooren strömten gelegentlich so kieselsäurereiche Wassermengen, daß die in den Wurzelstöcken und im Kernholz ausgeschiedene Kieselsäure die Pflanze langsam tötete und die Holzsubstanz verkieselte, während Rinde und Äste abstarben, ohne imprägniert zu werden. So finden wir bei Gröbers und Markranstädt die verkieselten Unterteile der Sumpfzypressen noch in ihrer ursprünglichen Stellung rings von unverkieselter Braunkohle umhüllt und in ganz ähnlicher Weise stehen verkieselte Psaronien- oder Medullosawurzeln und Coniferenstämme mitten zwischen den rotliegenden Letten, während andere Stämme bald nach der Verkieselung von Stürmen entwurzelt

und zerbrochen in die groben Konglomerate und Sandsteine eingebettet wurden.

Kamen solche kolloidal gelöste Mengen von Kieselsäure aber in das Meer, dann erfüllten sie alle feinen Poren der neugebildeten Ablagerungen und begannen darin zusammenzufließen. Um einen Ananchytes, eine Belemnitella oder Gryphäa lagerten sich die Kieselmoleküle ab, oft aber auch um kleine vergängliche Hartgebilde, die dem noch unverhärteten Kalk schichtartig eingefügt waren, und so wuchsen die chemisch entstandenen Feuersteinknollen zu immer größeren Schwülen heran.

Andere Mengen von Kieselsäure aber sickerten weiter in die Tiefe, sammelten sich innerhalb mächtiger Schichtenfolgen und wurden als Kieselzement oder Quarzgänge, kieselige Zwischenschichten oder Kieselknollen ausgeschieden.

Da man aber an der Küste von Rügen auch Feuersteingänge beobachtet und gelegentlich einen Ananchytes, dessen Schaleninneres mit Feuersteinen erfüllt ist, durch eine Verwerfung verschoben ist, auf deren Spalten ebenfalls Feuerstein ausgeschieden ist, scheint die Verkieselung hier längere Zeiträume hindurch erfolgt zu sein; wann sie einsetzte und wann der Vorgang zum Abschluß kam, bedarf noch genauerer Untersuchung.

Die lateritische Roterde, welche in die Karrenspalten der Jurakalke eingeweht wurde, hat vielleicht die Wände der Spalte verkieselt, denn die Nattheimer Korallen sind nur in der Oberschicht verkieselt, während das Gestein in der Tiefe keine Verkieselung erkennen läßt.

Brachiopoden, Muscheln, Belemniten zeigen oft zarte konzentrische Kieselringe, die von einem Kieselknötchen aus gewachsen sind.

Im Museum zu Melbourne und Sydney sieht man nicht nur opaliesierendes Holz und in schimmernden Opal verwandelte Meeresmuscheln, sondern sogar eine Wirbelsäule von Plesiosaurus, deren Knochen aus edlem Opal bestehen.

Die Reste festländischer Tiere werden nur selten so rasch von weichem Sediment umhüllt, daß ihr Körperumriß oder ihre Hartgebilde im Zusammenhang erhalten bleiben. Die leimgebende Substanz verschwindet aus den Zähnen und Knochen und daher „kleben“ fossile Knochen meist an der Zunge; ihr Gefüge ist klingend hart und ihr Gewicht scheint vermehrt zu sein.

Sumpfiger Moorboden ist für die Erhaltung von Tierleichen besonders günstig und die prähistorischen „Moorleichen“ zeigen uns, wie ein ganzer Mensch mit Haut und Haaren, Kleidung und Gerät vollkommen erhalten bleiben kann. Auch die Kadaver von Elephas primigenius, Rhinoceros Merki und Ovibos, die im östlichen Sibirien und Alaska fern von dem Gebiet der diluvialen Vereisung im gefrorenen Tundraboden erhalten sind, müssen in weichem Sumpfboden

zugrunde gegangen sein. Ist doch ein Mammut mit 12 Kilo Futter im Schlund gefunden worden, dessen Lage und Beinstellung deutlich zeigte, daß es auf einer mit Wollgras, Carex, Thymian, Mohn und Hahnenfuß bewachsenen Sumpfwiese mit dem schweren Hinterkörper einsank und erstickte. Hier blieb es von Moorwasser getränkt erhalten, bis durch eine Veränderung des Klimas der Boden fror, Bodenspalten sich mit Eisgängen erfüllten und mächtige Lagergänge von Eis zwischen den tonigen und humosen Schichten entstanden.

Das braune Haarkleid von Ovibos zeigt uns noch heute, daß dieses Tier ein Fremdling unter den weißen Polartieren ist. Auch Elephas primigenius hatte, wie man an Haarresten in Jena und Stuttgart deutlich erkennen kann, eine schwarzbraune Mähne. Die durch Moorwasser entfärbten und von der Sonne ausgebleichten Haare, auf Grund deren man das Haarkleid des Mammut „rotbraun“ genannt hat, sind ebenso fuchsig und fahlgelb geworden wie die Haare der Moorleichen und der Pelz des Glossotherium von Patagonien.

Endlich müssen wir die konservierende Bedeutung des Höhlenlehms und das Auftreten von Wirbeltieren in Kalkspalten, erfüllt mit gelbem Löß, rotem, braunem oder grünem Lehm, erörtern.

Bekanntlich sind manche solche Karren ungemein reich an wohlerhaltenen Skeletten selbst von kleinen Tieren mit zarten Knochen. Der feinstaubige ungeschichtete Ton, der sie umgibt und erhalten hat, ist augenscheinlich durch Staubwinde über die verkarsteten Kalktafeln ausgebreitet worden und stammt wohl in vielen Fällen von den lateritischen Verwitterungsdecken des untersten Tertiärs. Ihr Eisengehalt hat sich nachträglich in Krusten, traubigen Stalaktiten und Bohnerzschwülen ausgeschieden, die Änderung des Klimas hat die rote Farbe gebräunt, zunehmende Niederschläge haben die Eisensalze bisweilen ganz ausgelaugt, und so dürften im allgemeinen die älteren Faunen in rotem, die jungen in entfärbtem Ton eingebettet worden sein.

Auffallend ist die Seltenheit tierischer Reste innerhalb der karbonischen Steinkohle wie der tertiären Braunkohle. Sollas hat gezeigt, daß die Knochen devonischer Panzerfische, ebenso wie die Knorpelsubstanz von Paläospondylus jetzt aus Steinkohle besteht. Auch Fischzähne scheinen gelegentlich ganz in Kohle verwandelt zu sein. So ist es wohl erklärlich, daß der größte Teil der „Kohlenfauna“ in Kohle verwandelt worden ist und daß selbst von einem zusammenhängend versunkenen Lophiodon nur die Zahnreihen erhalten blieben.

Die in einem tektonisch gestörten Gestein enthaltenen Fossilien unterliegen natürlich denselben Vorgängen der Zertrümmerung, Verwerfung, Faltung, Verknetung und Auswalzung wie dieses. Die untersilurischen Trilobiten, devonischen Tentakuliten und karbonischen Cephalopoden finden wir daher im Faltensystem des varistischen Gebirges ebenso

verzerrt, ausgewalzt und geschiefert wie die Ammoniten und Belemniten in alpinen Gesteinen.

In der Regel wird man nicht im Zweifel sein, welche Form hierbei nachträglich entstanden ist, aber bei den Graptolithen haben doch manche ältere Autoren die Verzerrung der Zellen durch Schieferung so wenig berücksichtigt, daß R. Eisel, mit dem ich diese Frage eingehend behandelte, zahlreiche thüringer Arten auf nachträglich deformierte Exemplare zurückführen konnte.

Grundverschieden von der verkieselnden Einwirkung der Vadose und Lithose sind die vielfach untersuchten Vorgänge der Verkieselung durch eruptose vulkanische Thermen.

Wiederholt hat man das Auftreten von verkieseltem Holz in vulkanischen Tuffen mit heißen aufsteigenden Wassern in ursächliche Beziehung gebracht und die verkieselten „Wälder“ des schlesischen und sächsischen Rotliegenden, des ungarischen, ägyptischen und nordamerikanischen Tertiärs als Geyser-Wirkung betrachtet.

Meine Beobachtungen im Yellowstone-Park haben mich aber belehrt, daß zwar manche Bäume in der Umgebung der Sprudel durch das heiße Wasser getötet werden, daß Holzstücke, die in die Quellbecken geraten sind, sich mit dicken Kieselrinden überziehen, daß sogar die zarte Blüte einer Parnassia mit Kieselsäure getränkt werden kann — aber ich sehe in den genannten fossilen Vorkommen von Kieselstämmen keine direkte Wirkung des eruptosen Thermenwassers. Vielmehr scheinen die Bäume durch vadose oder lithose Wasser verkieselt worden zu sein.

Literatur

Andree, K., Die Diagenese der Sedimente, ihre Beziehungen zur Sedimentbildung und Sedimentpetrographie. Geolog. Rundsch. Bd. II, H. 3, S. 61. — Andree, K., Über den Erhaltungszustand eines Goniatiten und einiger anderer Versteinerungen aus dem Banderz des Rammelsberger Kieslagers. Zeitschr. f. prakt. Geol. XVI, Jahrg. 1908, H. 4, S. 165. — Andree, K., Über einige Vorkommen von Flußspat in Sedimenten nebst Bemerkungen über Versteinerungsprozesse und Diagenese. Tschermaks Min. u. petrograph. Mitteil. Bd. XXVIII, 6. Heft, 1909, S. 535. — Andree, K., Eine zweite Graphularia-Art (Gr. Crecelii n. sp.) aus dem mitteloligocänen Meeressand im Mainzer Becken. Centr. f. Min., Geol. u. Paläont. Jahrg. 1912, Nr. 7, S. 202—207. — Andree, K., Über Goniatitenkalke und Kieselschiefer. Centralbl. f. Min. usw. Jahrg. 1916, Nr. 20, S. 487. — Andree, K., Über Vorkommen und Herkunft des Schwerspates am heutigen Meeresboden. Centralbl. f. Min. usw. Jahrg. 1918, Nr. 9 u. 10, S. 157—165. — Baßler, S., The Formation of Geodes with Remarks on the Silicification of Fossils. From the Proceedings of the United States National Museum vol. XXXV, pag. 133—154, 1908. — Biedermann, W., Über den Zustand des Kalkes im Crustaceenpanzer. Biolog. Centralbl. Bd. XXI, Nr. 11, 1901, S. 343. — Branco, W., Über einige neue Arten von Graphularia und über tertiäre Belemniten. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Gesellsch., Jahrg. 1885, S. 421. — Branner, J. C., The Stone Reefs of Brasil, Their Geological and Geographical Relations, with a Chapter on the Coral Reefs. Bull. of the Mus. of Comp. Zoo I—BI XLIV, 285 S. Ibid. 1905. Geol. Soc. of Am. Bull. Bd. XVI, S. 1—12,

T. I—II. 1904. — Clark, W. B., Origin and Classification of the Greensands of New Jersey. Journ. of Geol. Bd. II, S: 161—177. 1894. — Daly, Reginald A., The Calcareous concactions of Kettle Point, Ontario. Journ. of Geol. B. VIII, S. 135—150. 1900. — Deecke, W., Paläontologische Betrachtungen. IX. Über Gastropoden. Neues Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont. Beil. Bd. XI, S. 759—788, 1916. — Deecke, W., Über Färbungsspuren an fossilen Molluskenschalen. Sitzungsb. d. Heidelberger Akad. d. Wissensch. Math.-naturw. Klasse Jahrg. 1917, 6. Abhandlung. — Delesse, A., Lithologie des Mers de France et des Mers principales du Globe. E. Lacroix, Paris 1871. — Diedrich u. Stremme, Über Kieselgur u. Tripel. Der Steinbruch 1913, Heft 20, S. 268. Eckstein, K., Die Exkremente der Tiere. Aus d. Natur IV. Jahrg., 1908, Heft 10, S. 289. — Ehrenberg, P., Die Bodenkolloide. 2. Aufl. Dresden 1918. — Engel, Die Ammonitenbreccie des Lias bei Bad Boll. Jahresh. d. Vereins f. vaterl. Naturk. in Württemberg 1894, S. 51. — v. Freyberg, Zur Genesis des Wellenkalkes. Naturw. Wochenschrift 1919, Nr. 20, S. 276. — Harrison J. B, and Williams, John, The Proportions of Chlorine and of Nitrogene as Nitric Acid and as Ammonia in Certain Tropical Rainwaters. Journ. of the Am. Chem. Soc. Bd. XIX S. 1. 1897. — Hessel, Einfluß des org. Körpers auf den unorganischen. Marburg 1826. — van Hise, Charles R., Enlargement of Feldspat Fragments in certain Keweenawan Sandstones. Buil. of the United Staates Geol. Surv. Nr. 8, S. 44—47, 1884. — Jacobs, Erkundungsfahrten auf dem Tanganika-See in der Zeit vom 2. Juni bis 19. Juli 1913. — Jentzsch, Über den Untergrund norddeutscher Binnenseen. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Gesellsch. Bd. LXIV, Heft 3, 1902, S. 144. — Irvine, Robert, and Young, George, On the Solubility of Lime unter different Forms in Sea-Water. Proc. of the Soc. of Ed. Bd. XV, S. 316, 1889. — Irvine and Young, Secretion of lime under different forms by seawater. Proc. R. Soc. Edinburg 1889, S. 316. — Kalkowski, E., Die Verkieselung der Gesteine in der nördlichen Kalahari. — Isis 190/1. — Keilhack, Lehrbuch der praktischen Geologie. 3. Aufl., Kap. 102 f. — König, F., Über die Genesis der zementbildenden Materialien, rekonstruktiv und musealtechnisch dargestellt. Ver. d. österr. Zementfabriken 1911. — Maas, O., Über die Wirkung der Kalkentziehung auf die Entwicklung der Kalkschwämme. Sitzungsb. d. Gesellsch. f. Morph. u. Phys. in München 1904, Heft 1. — Marr, J. E., On Limestone-knolls in the Craven District of Yorkshire and Elsewhere. Quart. Journ. of the Geol. Soc. of London, Bd. LV, S. 327—358, 1899. — Molengraaff, G. A. F., On the occurrence of nodules of manganese in mesozoic deep-sea deposits from Borneo, Timor and Rotti, Their significance and mode of formation. Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam 1915, S. 415. — Murray and Renard, Deep Sea Deposits. Challenger Report. — Nadson, G., Die Mikroorganismen als Geologische Faktoren, 1903. — Nahnsen, M., Über die Gesteine des norddeutschen Korallenooliths, insbesondere die Bildungsweise des Ooliths und Dolomits. N. Jahrbuch f. Min. Beil. Bd. XXXV, S. 277—351, 1913. — Ogilvie, M. M., Microscopic and Systematic Study of Madreporarian Types of Corals. From the Proceedings of the Royal Society, vol. LIX, S. 9, 1895. — Oppenheim, P., Über die Färbung von Molluskenschalen. Zentralbl. f. Min. Geol. Pal., 1918, S. 344, mit Literatur. — Pfaff, F. W., Über Dolomitbildung. Centralbl. f. Min., Geol. u. Paläontol. 1903, Nr. 20 u. 21, S. 659. — Reis, O. M., Palaeohistologische Beiträge zur Stammesgeschichte der Teleostier. N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläontol. Jahrg. 1895, Bd. I, S. 162. — Schubel, Über Knollensteine und verwandte tertiäre Verkieselungen. Diss. Halle 1911, S. 267. — Selle, V., Über Verwitterung und Kaolinbildung Hallescher Quarzporphyre, Halle Diss. 1907. — Slavik, F., Über die Alaun- und Pyritschiefer Westböhmens, 1904. — Sollas, On Palaeospondylus. Phil. Trans. R. Soc. London 1903, Vol. 196, S. 267. — Steinmann, G., Über Schalen- und Kalksteinbildung. Ber. d. Naturf. Gesellsch. z. Freiburg i. B. Bd. IV, Heft 5, 1889, S. 288. — Sterzel, J. T., Ein verkieselter Riesenbaum aus dem Rot-

liegenden von Chemnitz. XV. Ber. d. Naturw. Gesellsch. z. Chemnitz 1900—1903, S. 23. — Sterzel, J. T., Gruppe verkieselter Araucariten-Stämme aus dem versteinerten Rotliegend-Walde von Chemnitz-Hilbersdorf. XIV. Ber. d. Naturw. Gesellsch. z. Chemnitz 1896—1899. — Walther, J., Die gesteinbildenden Kalkalgen des Golfes von Neapel und die Entstehung strukturloser Kalke. Z. d. d. geol. Ges. 1385, S. 229. — Walther u. Schirlitz, Studien zur Geologie des Golfes von Neapel. Z. d. d. geol. Ges. 1886, S. 337. — Walther, J., Untersuchungen über den Bau der Crinoiden. Palaeontograph., Bd. XXXII 1886, S. 168. — Walther, J., Die Korallenriffe der Sinaihalbinsel, Bd. X, Abh. d. k. S. d. Wiss., Leipzig 1888. — Walther, J., Die Adamsbrücke und die Korallenriffe der Palksstraße. Peterm. Erg. Heft Nr. 102. — Walther, Die Fauna der Solnhofener Plattenkalke bionomisch betrachtet. E. Häckel-Festschrift, Jena 1904. — Zsigmondy, R., Lehrbuch der Kolloidchemie. Leipzig 1918. — Wehrli, L., Der versteinerte Wald zu Chemnitz, 1915. — Wetzel, W., Über ein Kieselholzgeschiebe mit Teredonen aus den Holtenauer Kanalaufschlüssen. Jahresb. d. Niedersächs. geol. Ver. zu Hannover (Geol. Abt. d. Naturh. Gesellsch. zu Hannover) 1903, S. 17.

19. Die organischen Gesteine

An den Abhängen tätiger Vulkane, im lebensfeindlichen Schneegebiete, in den Wüsten des Festlandes und auf den leblosen Gebieten des Meeresbodens entstehen Ablagerungen, die keine organischen Reste enthalten, weil kein Lebewesen deren Oberfläche besiedelte und nur gelegentliche Durchzügler ihre flüchtige Spur dort hinterließen. An diese ursprünglich völlig fossilleeren Gesteine reihen sich andere an, in denen die fossilen Reste etwa 15 % der Masse bilden und allmähliche Übergänge leiten hinüber zu so versteinerungsreichen, festländischen, limnischen oder marinen Felsarten, daß 50 % oder 95 % ihrer Masse aus Tier- und Pflanzenresten besteht. Endlich finden wir mächtige Felsarten von aschenarmer Kohle oder chemisch reinem Kalk, die als organische Gesteine im engsten Sinne betrachtet werden müssen.

Man könnte im Zweifel sein, ob diese in den Geweben von lebenden Organismen chemisch ausgeschiedenen Massen nicht zu den Niederschlägen gestellt werden sollten. Allein nach ihren Bildungsumständen und weiteren Schicksalen müssen wir sie unbedingt zu den „Trümmergesteinen“ rechnen.

Die organischen Gesteine, als Produkte des Stoffwechsels lebender oder der Zersetzung absterbender Pflanzen und Tiere, müssen nach denselben biologischen Gesichtspunkten beurteilt werden, wie die im vorigen Abschnitt behandelten Hartgebilde, aus deren örtlicher Anhäufung sie entstanden.

Obwohl die auf der Erde und im Meere den Organismen zur Verfügung stehenden Lösungen und Lösungsgemische chemisch ungemein mannigfaltig sind und waren, so wird doch nur eine kleine Zahl derselben zur Bildung von Stützgeweben verwendet, und selbst unter diesen treffen wir nur wenige in solcher Menge und solcher Reinheit, daß sie Gesteine bilden. Weder Spongin noch Chitin, weder Knorpelgewebe noch Coelestin finden wir als organisches Gestein; selbst der phosphorsaure

Kalk bildet nur kleine Einlagerungen und auch die organische Kieselsäure verteilt sich meist zwischen andere Sedimente.

Indem wir zunächst das Gewebe der organischen Gesteine betrachten, so überwiegen zwar die feinkörnigen und dichten Massen, aber daneben treffen wir doch noch alle anderen Formen von Einschlüssen genau wie bei den anorganischen Trümmergesteinen und mit solchen in vielfacher Vermischung. Knochenhaufen, scharfkantige Korallenbruchstücke oder zertrümmerte Holzstücke bilden kalkige Breschen und pflanzlichen Häcksel, runde Kalkalgen oder abgerollte Korallenblöcke erzeugen konglomeratische Bildungen, kleinere Schalenbruchstücke, zerbrochene Kieselnadeln oder zerriebene Holzstücke häufen sich zu sandigen Massen an, die entweder vom Wasser in horizontalen Schichten oder vom Wind zu kreuzgeschichteten Dünen angehäuft werden und Radiolarienpulver, feiner Kalkschlamm oder pflanzlicher Moder mischt sich mit anderen anorganischen oder vulkanischen feinsten Gesteinselementen zu jenen zahllosen dichten Mischgesteinen der Pelite, in denen nur gelegentlich eine wohlerhaltene Ammonitenschale oder ein Blattabdruck als wertvolles Leitfossil eingeschlossen ist — während am anderen Ende dieser Übergangsreihe die reinen, dichten Kalke und Kohlen stehen.

Die Vorgänge der Diagenese solcher Hartgebilde, die wir im vorigen Abschnitt besprochen haben, verändern die aus ihnen allein zusammengesetzten Ablagerungen in viel stärkerer Weise als die vereinzelt in anorganischen Trümmermassen eingeschlossenen Fossilien. Dort bewirkt der stoffliche Gegensatz zwischen Einschluß und Grundmasse, daß der äußere Umriß des Fossils erhalten bleibt, selbst wenn seine Masse völlig zerfiel oder aufgelöst wurde. Bei den organischen Gesteinen fällt dieser Gegensatz weg. Eine Muschelschale innerhalb eines aus zerriebenen Conchylien gebildeten dichten Kalkes ist ja ein Teil desselben und die Blattnervatur inmitten zerfallener Blattreste hat dieselben lithogenetischen Schicksale wie diese.

Daher kommen wir zu dem widerspruchsvoll klingenden Satz, daß ein Gestein um so fossilärmer erscheint, je größeren Anteil fossile Hartgebilde an seinem Aufbau nahmen. Wer in dichter Steinkohle Sigillarienblätter und in einem dichten Korallenkalk wohlerhaltene Korallenkelche zu finden hofft, wird meist enttäuscht werden — und dieser Mangel erkennbarer Fossilreste hat bei der Diskussion über diese Gesteine eine große Rolle gespielt.

Damit hängt es auch zusammen, daß das ursprüngliche Gewebe rein organischer Gesteine oft völlig verschwunden ist. Die Knollenstruktur der Algenkalke im Miozän von Syrakus läßt sich an den hohen Wänden der alten Latomieu nur örtlich wiedererkennen und die einstige Beschaffenheit des aus Algen aufgebauten Dachsteinkalkes können wir nur aus dem Umriß der mit rotem Feinsand erfüllten Lücken erschließen.

Genau wie die organischen Einschlüsse in anorganischen Gesteinen besondere Beachtung verdienen, müssen wir den anorganischen Einschlüssen innerhalb dieser organischen Ablagerungen unser besonderes Augenmerk zuwenden. Ein isolierter Schieferbrocken innerhalb eines Kohlenflözes, ein vereinzeltes Rollstück von Milchquarz oder Granit inmitten des Muschelkalks von Jena regt zahlreiche Fragen an, die das lithologische Problem der organischen Grundmasse vertiefen und erweitern.

Bei der Diagenese vereinzelter Fossilien, ebenso wie bei der von organischen Gesteinen, müssen wir zwei grundverschiedene Vorgänge unterscheiden. Zunächst den erdigen Zerfall der Reste, der meist rasch nach dem Tode einsetzt, aber durch äußere Umstände so verlangsamt werden kann, daß er zu dauernden Zuständen führt. Viele sogenannte Braunkohlen sind heute noch ebenso weich wie die Torfmassen, die im Eozän aus tropischen Sumpfpflanzen entstanden und die weiße Schreibkreide ist noch genau so erdig wie nach der Obersenonzeit, als die am Meeresgrund angehäuften Schalentrümmer nach Überlagerung durch die Schichten des „Danien" in ein feines Kalkpulver zerfielen.

Wenn aber in einer beständig sinkenden Sammelmulde solche erdige Torf- oder Kalkpulver in immer größere Tiefe hinabtauchen, von den langsamen Diffusionsströmen der warmen Lithose durchzogen werden und sich infolge ihrer feinen Zerteilung und großen Oberfläche wieder zusammenfügen, dann entstehen jene klingend harten, dichten Kalke oder Kohlen, die dem Geologen so vertraut sind. So sind die gefalteten Tertiärkohlen am Alpenrand dichte, steinharte Massen geworden, während die Algenkohle im blauen Ton von Kunda im Liegenden des baltischen Kambrium noch ebenso erdig geblieben ist wie zur Zeit ihrer Ablagerung. Alle „Steinkohlen" sind vorübergehend weiche, erdige „Braunkohle" gewesen und alle „Kalksteine" waren einmal zerreibliche „Kreide", bevor sie ebenso verkittet und eingedichtet wurden wie ein vulkanischer Traß oder ein klingend harter Schieferton. Wir bezeichnen diesen Vorgang als Eindichtung.

Unter diesen Umständen verschwindet meist auch das ursprüngliche Gewebe der organischen Gesteine und wir können nur aus ihrem Gefüge den inneren Bildungsaufbau und aus ihrem Umriß die Gestalt des einstigen Bildungsraumes erschließen.

Die Unterkante, mit der ein organisches Gestein auf seinem Liegenden auflagert, entspricht den lithologischen Zuständen, die bei Beginn der Neubildung herrschten. Wir können aus deren Form und Ausdehnung die Größe des Bildungsraumes und die Geländegestalt desselben erkennen.

Das ursprüngliche Gefüge erlaubt Schlüsse auf den Bildungsvorgang. Grobe oder feinere Schichtung, massiges Auftreten oder rasches

Auskeilen kleiner Linsen ist der Ausdruck ganz verschiedener Bildungsvorgänge. Hierbei ist es besonders wichtig, ob die Ablagerung durch Einschaltung von anorganischen und vulkanischen Trümmergesteinen oder von chemischen Niederschlägen unterbrochen wurde. Eine Sandsteinbank zwischen Kohlenflözen hat eine andere Bedeutung, wie eine Schicht vulkanischer Asche, eine Kalkbank oder eine Einlagerung von Kieselsinter.

Zahlreiche organische Gesteine sind massig-ungeschichtet und lassen deutlich erkennen, daß der Bildungsvorgang der organischen Fazies nicht unterbrochen wurde. Andere lassen an länger geöffneten Aufschlüssen zwischen ungegliederten Bänken eine innere Schichtung erkennen.

Gerade bei den reinen organischen Gesteinen, wie Kohlen und Kalken, ergeben sich daraus große Schwierigkeiten, daß solche eingeschalteten Zwischenschichten unmeßbar dünn sind und die durch sie bedingte Gliederung nur an ganz besonders günstigen Aufschlüssen sichtbar wird. Oft hängt es nur von einer bestimmten Art der Beleuchtung oder von der Durchtränkung mit Wasser, oft nur von der kürzeren oder längeren Verwitterung ab, ob man die in einem Braunkohlenlager oder einem Massenkalk verborgene Schichtung erkennen kann.

Lange Beschäftigung mit diesem vielverkannten Problem hat mich zu der Überzeugung geführt, daß es sich bei dieser Erscheinung um feine Staubschleier handelt, die aus der staubigen Atmosphäre durch „schmutzige" Regentropfen niedergeschlagen, ebenso auf einem Moor wie auf einem Korallenriff, auf dem Festlande wie auf hoher See eine oft unmeßbare tonige Zwischenschicht (Besteg) erzeugten, die selbst in den dunklen Bändern eines gefalteten Marmors erhalten blieb.

Die Mächtigkeit von anorganischen Trümmergesteinen ist in der Regel bedingt durch die Menge des zu ihrer Bildung vorrätigen Materials und daher wiederum von der Stärke und Dauer verwitternder Kräfte. Auch in diesem Punkt unterscheiden sich die organischen Gesteine grundsätzlich. Denn die in der Atmosphäre enthaltenen Mengen von CO_2 reichen jederzeit aus, um die Gewebe üppiger Pflanzenbestände zu bilden, wenn nur Sonnenstrahlen die Assimilation unterhalten und eine günstige Temperatur die Entfaltung der Flora fördert. So enthält auch das Meerwasser stets genügende Mengen von Kalklösungen, um ein vielgestaltiges Tierleben zu schaffen, dessen harte Panzer zu mächtigen Kalkschichten und Riffen angehäuft werden, wenn nur eine gleichmäßige Temperatur und ausreichende Mengen von Lichtstrahlen vorhanden sind.

Angesichts der oft so überraschend großen Mächtigkeit reiner organischer Kalke oder Kohlen hat man immer wieder geglaubt, daß solche Massen durch Zusammenschwemmung aus einem wesentlich größeren Entstehungsraum auf einen verhältnismäßig engen Ablagerungsraum zu erklären seien. So erschien die Allochthonie als die Regel, die

Autochthonie als die Ausnahme. Aber gerade die Reinheit organischer Kalke und Kohlen an tonig-sandigen Beimengungen spricht dafür, daß sie bodenständig entstanden sein müssen und nicht bodenfremd zusammengetragen wurden.

Unter dieser Voraussetzung aber ist ihre Mächtigkeit der Ausdruck ganz besonderer Umstände, weil diese oftmals viel größer ist als die ursprüngliche Tiefe des Bildungsraumes. Denn selbst ein Hochmoor kann nicht unbegrenzt über den Spiegel des Grundwassers weiter emporsteigen, und ein Kalklager hört zu wachsen auf, wenn das betreffende Meeresbecken bis zum Wasserspiegel zugefüllt ist. Es müssen also langsame Senkungsvorgänge eintreten, damit die Mächtigkeit immer weiter zunehmen kann.

Auch die Oberkante der organischen Gesteine zeichnet sich gewöhnlich durch einen raschen Fazieswechsel aus; nur ausnahmsweise erfolgt die Überlagerung durch ein anderes Gestein in allmählichen Übergängen. Hier gilt es also, nicht allein zu prüfen, warum die biologischen Vorgänge, welche Kohle und Kalk erzeugten, zu Ende kamen, sondern auch, warum ein anderer lithogenetischer Vorgang einsetzte — nur selten können wir beide Vorgänge durch dieselben Umstände erklären.

Manche organische Gesteine entstanden bodenfremd oder enthalten bodenfremde Einlagerungen. Die wichtigste Rolle spielt hierbei der Wind. Er nimmt alle zerfallenden Pflanzenteile auf und mischt sie mit anorganischem Staub, trägt Pollen und Blätter zu ganzen Schichten zusammen, hebt sandige Kalkreste zu hohen Dünen empor, die, wie eine Quarzdüne weit landeinwärts wandernd, diagonal geschichtete Kalkbänke aufschichten und ganze Wälder begraben können.

Wer einmal die Lücken gesehen hat, die ein Sturm in geschlossene Wälder (Windbruch) reißen kann, der wird es verstehen, daß die karbonischen Pflanzen, welche, aus dem Meere aufsteigend, durch die Flußmündungen das trockene Festland besiedelten, zunächst in vernichtender Weise durch die Stürme geschädigt, zersetzt und in feinen Staub zerlegt, dann später in Häcksel zerbrochen wurden, bevor jene elastischen Fasern entstanden, die jetzt den Holzkörper aller größeren Pflanzen stützen und tragen. Die Anhäufung der karbonischen Steinkohlenlager beruht zum Teil auf diesen Umständen.

Auch die Gestalt und das Astgefüge vieler Koniferen, die mit spitzem Gipfel nach oben strebend und mit flügelartig um den Stamm sich schließenden herabhängenden Ästen so wunderbar an die winterlichen Schneestürme angepaßt sind, möchte ich auf die auslesenden Orkane im Weltwinter während der unteren Permzeit zurückführen.

Auch alle lufterfüllten Kalkschalen der Meerestiere werden durch Wellen und Wind weit verfrachtet. An Foraminiferenschalen, die

im flachen Wasser treiben und in langen Säumen ans Ufer gespült werden, oder Sepia-, Spirula- und Nautilusschalen, hat wohl jeder aufmerksame Naturforscher an unbewohnten Meeresküsten Gelegenheit gehabt, sich von der ungeheuren Bedeutung der Wind- und Meeresströmungen für die endgültige Verteilung solcher Reste zu überzeugen. Balaniden und Lepaditen wandern an Treibholz oder Bimsstein angeheftet über weite Ozeanflächen und können ebenso bodenfremd in andere Sedimente eingebettet werden, wie sie sich örtlich zu ganzen Ablagerungen ansammeln.

Indem der Wind die Meeresoberfläche bestreicht und Wellen, Dünung und Strömungen erzeugt, trägt er alle dort schwimmenden und schwebenden organischen Reste weit von ihrem Entstehungsort nach fernen Gebieten. So gelangen litorale Sepia- und Nautilusschalen in die offene See, die Globigerinen der Hochsee nach dem Strandgebiet und die in der Tiefsee lebenden Radiolarien und Tiefseefische werden nach dem Hafen von Messina getrieben.

Welche Bedeutung diese Verfrachtung für die zonare Verteilung der Graptolithen, Nummuliten, Fusulinen, Productiden, Nautiloiden, Ammoniten und Belemniten hatte, wird uns in einem späteren Abschnitt beschäftigen.

Da es sich bei der Bildung organischer Gesteine darum handelt, daß an einem begrenzten Ort möglichst große Mengen erhaltungsfähiger Hartgebilde erzeugt, also die dort herrschenden günstigen biologischen Umstände möglichst ausgenutzt werden, sind gemischte Bestände von Pflanzen oder Tieren, wie sie ein aus vielen Gattungen und Arten bestehender Urwald oder ein artenreiches Korallenriff bietet, im Vorteil gegenüber den von wenigen Formen besiedelten Lebensbezirken. Man wird daher auch, wenn solche organische Massen fossil werden, ganz verschiedene systematische Formenkreise nebeneinander beobachten. Wenn die eigentliche Kalkmasse eines Riffes aus Kalkalgen oder Korallen entstand, so wird man zwischen dem so gebildeten dichten Kalk überall Reste von Foraminifermen, Spongien, Echinodermen oder Mollusken entdecken, die, in Rifflücken gut erhalten, über den eigentlichen Aufbau des Riffes und die Natur der Riffkalkerzeuger täuschen können.

Auch die Hauptmasse unserer Kohlenlager wird nicht etwa von den Pflanzen gebildet, welche in mehr oder weniger gut erhaltenen Resten als Wurzel, Baumholz oder deutliche Blätter darin noch zu erkennen sind. Was sich zur Kohlenbildung eignete, ist längst in dichte Kohle verwandelt und nur die dafür weniger geeigneten Gewebeteile anderer dazwischen lebender Pflanzen blieben erhalten. Genau wie in einem Torflager die verkorkten Rindenstückchen und verkieselten Gräser noch immer zu erkennen sind, wenn die eigentlichen Torfbildner längst zu amorphem Moder zerfielen.

Sind schon die anorganischen Trümmergesteine wegen ihrer Abhängigkeit vom Klima und der Größe ihrer Bildungsräume einer experimentellen Prüfung in den engen Verhältnissen eines Apparates kaum zugänglich, so mehren sich diese Schwierigkeiten bei der Frage nach der Entstehung organischer Massen, die man nur durch Beobachtung der heutigen Lebensbezirke in Urwald und Steppe, im freien Meer oder im Aquarium überschauen lernt.

Eine große Schwierigkeit für das Verständnis dieser Dinge liegt auch darin, daß es nicht genügt, das Leben der gesteinbildenden Tiere und Pflanzen zu betrachten, sondern daß man auch ihr regionales Absterben eingehend verfolgen muß. Viele Irrtümer und nutzlose Diskussionen über das Problem der Korallenriffe wären vermieden worden, wenn man beim Studium lebender Korallenriffe nicht nur die Rasen der wachsenden, formenreichen Korallenstöcke, sondern auch die formlosen Kalkknollen und groben Kalksande untersucht hätte, auf denen jene nur wie Blumenbeete in der Rasenfläche verteilt sind.

Indem wir den körperlichen Umriß eines organischen Gesteins verfolgen, gewinnen wir ein Urteil über die Gestalt seines Bildungsraumes. Aber auch hier besteht ein großer Gegensatz gegenüber den anorganischen Tr. G., welche aus mechanischen Gründen meist den ganzen verfügbaren Bildungsraum ausfüllen, während die besonderen Wachstumsvorgänge hier den Bildungsraum gliedern und große Flächen desselben unausgefüllt lassen können. Ein flaches Litoralgebiet wird keineswegs überall von Tangmassen oder Küstenmooren bedeckt, und am Boden eines gewaltigen Meeresbeckens erheben sich vielleicht nur einige wenige Korallenriffe, während ringsum das blaue Wasser wogt.

In allen solchen Fällen wird die ursprüngliche Faziesgrenze eines organischen Gesteins wichtige Aufschlüsse auf die besonderen Umstände seiner Bildung erlauben.

Wie wir in einem späteren Abschnitt noch eingehend begründen werden, ist es nicht richtig, alle rezenten lithologischen und biologischen Vorgänge nach Ausmaß und Wirkungsweise ohne weiteres auf die fossilen Zustände früherer Perioden zu übertragen. Das gilt besonders für die organischen Gesteine. Denn die Umstände, die in der geologischen Gegenwart eine so reiche Entfaltung der Korallenriffe oder am Schluß der Diluvialeiszeit das intensive Wachstum der norddeutschen Moore veranlaßten, sind einzigartig und können nicht ohne weiteres zu paläoklimatischen Schlüssen verwertet werden. So ist der rezente Radiolarienschlick der Tropen und der Diatomeenschlick der Antarktis eine chronologisch eigenartige Ablagerung und darf uns nicht veranlassen, jedes ältere Radiolarien-führende Gestein als tropische Tiefseeablagerung zu betrachten; auch die fossilen Schwefellager in Sizilien dürfen wir nicht etwa durch Bakterien erklären, nur weil heute die Schwefelbakterien eine gewisse Rolle spielen.

In der Gegenwart entstehen auf organischem Wege:

1. Kohlensaurer Kalk
   a) durch kalkabscheidende Pflanzen im Süßwasser und in Salzseen wie im Meer, und zwar an dessen Boden ebenso wie im offenen Wasser der Hochsee,
   b) durch kalkabscheidende Tiere, die festgewachsen oder freibeweglich den Meeresgrund besiedeln oder in ungeheuren Schwärmen das offene Meer beleben. Geringere Bedeutung besitzen die organischen Kalke in Süßwasserseen und Flußbetten.
2. Phosphorsaurer Kalk findet sich in den Schalen von Brachiopoden sowie den Skeletteilen der Wirbeltiere oder deren Kotmassen.
3. Kohlensaure Magnesia scheiden manche Bakterien und viele marine kalkbildende Pflanzen und Tiere gemischt mit dem Kalkkarbonat in ihren Hartgeweben ab.
4. Kieselsäure verwenden die schwebenden Diatomeen des Meeres- und des Süßwassers, die ebenso im blauen Wasser der Hochsee lebenden Radiolarien und endlich die am Meeresgrund festgewachsenen oder im Schlamm eingewurzelten Spongien. Auch zahlreiche höhere Pflanzen, besonders aus der Gruppe der Schachtelhalme und Monokotylen, scheiden beträchtliche Mengen von Kieselsäure in ihren Geweben aus; in den Stengeln der Bambuse finden sich gelegentlich ganze Zylinder aus amorpher Kieselsäure (Tabaschir).
5. In manchen faulenden Wasserbecken gedeihen sogenannte Schwefelbakterien, die in ihren Zellhüllen Körnchen von reinem Schwefel ausscheiden.
6. Endlich sind die Eisenbakterien befähigt, durch ihre Lebenstätigkeit große Mengen von Eisenverbindungen zu erzeugen, die als Raseneisensteine auf dem Festland weit verbreitet sind.
7. Ein organischer Vorgang, vielleicht posthumer Natur, scheint auch die Ausscheidung von Glaukonit zu veranlassen. Die grünen Körner dieses Tonerde-Eisensilikates sind nicht nur in den Meeresablagerungen aller Perioden beobachtet worden, sondern auch heute häufig. Sie sind am Grunde des Golfstromes, wie an der japanischen Küste und auf der Agulhasbank weitverbreitet und scheinen sich hier unter dem Einfluß von kalten und warmen Meeresströmungen zu bilden, an deren oft veränderlicher Grenze ein beständiges Absterben des Plankton und der bodenbewohnenden Tiere erfolgt. Seine Verbreitung im Wellenkalk deutet darauf hin, daß auch durch den Wechsel von salzreichem und salzarmem Wasser die Ausscheidung von Glaukonit begünstigt wird.
8. Schwefelsaures Strontium bilden die Acantharien.
9. Eine ganz besondere Bedeutung haben endlich viele Pflanzen und Tiere durch die Bildung von jenen braunen oder dunklen erdigen

oder dichten Massen, die man als Kohle bezeichnet. Merkwürdigerweise betrachtet man sie wie Holzkohle, Graphit und Diamant als reinen oder verunreinigten „Kohlenstoff“, obwohl die Gase und Teermengen, die wir der Steinkohle und der Braunkohle abgewinnen, deutlich zeigen, daß es sich um Gemische von C, H, N, O und S handelt. Die große Mehrzahl dieser organisch abgeschiedenen Stoffe kommt aber in wechselnden Gemischen mit anorganischen Trümmern zur Ablagerung und nur vereinzelt bilden sich auch reine organische Gesteine von chemisch einheitlicher Zusammensetzung.

In mancher Hinsicht unterscheiden sich die fossilen Gesteine von den rezenten organischen Massen. Denn die ersteren erleiden später so tiefgreifende chemische Umwandlungen, daß viele derselben nur nach ihrem Umriß und Gefüge, nicht nach ihrer Zusammensetzung beurteilt werden können. Besonders die Kalke erscheinen so oft in Dolomit, Kupfererzlager, Eisenerz, Kieselmassen oder Granatfels verwandelt, daß bei der Beurteilung älterer Meeresböden diese diagenetischen oder metamorphen Veränderungen eingehend berücksichtigt werden müssen.

Wenn hierbei das innere Gewebe des Gesteins verändert worden ist und sich seine feineren oder gröberen Gemengteile in einer gleichartigen dichten Masse aufgelöst haben, wenn vielleicht nachträgliche Ausscheidung von kohlensaurer Magnesia aus organischem Massenkalk einen körnigen Dolomit oder thermische Metamorphose aus dichter Kohle einen klingend harten Anthrazit erzeugten, dann können wir weder auf mikroskopischem noch auf chemischem Wege die Beschaffenheit des Ursprungsgesteins erkennen; vielmehr müssen wir dann die Lagerungsweise zum Gegenstand eingehender Untersuchung machen, um dessen Entstehungsart zu erfahren.

Die organischen Gesteine sind nicht allein die mächtigsten und ausgedehntesten Fossilmassen, sondern stellen gleichzeitig die größten Lücken der paläontologischen Urkunden dar, weil fast nur zertrümmerte und formlos gewordene Hartgebilde ihre Bausteine bilden. Ebenso wie die große Masse der kristallinischen Magmagesteine, obwohl sie fast nur aus Mineralien bestehen, für das Sammeln einzelner wohlausgebildeter Kristalle ungünstig ist, so enthalten oft die organischen Gesteine nur in einzelnen versteinerungsreichen Nestern gut bestimmbare Fossilien, obwohl ganze Berge nur aus organischen Resten entstanden sind.

Literatur

Cayeux, L., Genèse des Gisements de Phosphates de Chaux sedimentaires. Bull. de la Société Géolog. de France 4. Serie, tome V, p. 750, 1905. — Cayeux, L., Les Minerais de fer sedimentaires. C. R. Acad. Sc. Paris 1913, T. 156, S. 1185. — Credner, H., Die Phosphoritknollen des Leipziger Mitteloligocäns und die norddeutschen Phosphoritzonen. XXII. Bd. d. Abhandl. d. mathem.-physik. Klasse d. K. Sächs. Gesellsch. d.

Wissensch., Nr. 1, 1895. — Glinka, K., Der Glaukonit, seine Entstehung, sein chemischer Bestand und seine Verwitterung. Publ. de l'inst. agron. de Novo-Alexandria. St. Petersbourg 1896. — v. Gümbel, C. W., Über die Natur und Bildungsweise des Glaukonits. Sitzung d. Bayr. Akad. d. Wissensch. München 1886, S. 417. — Irvine, Robert, and Woodhead, G. Sims., On the Secretion of Carbonate of Lime by Animals. Proc. of the Roy. Soc. of Edinb. Bd. XV, S. 308; Bd. XVI, S. 324; Bd. XVII, S. 79, 1889. — Kruft, L., Die Phosphoritführung des vogtländischen Obersilur und die Verbreitung des Phosphorits im Altpaläozoicum Europas. Beil.-Bd. N. Jahrb. f. Min. XV, 1901. — Meyer, L. F., Über Radiolarite im Dillenburgischen. Versamml. d. Niederrh. geol. Vereins vom 23. Jan. zu Coblenz S. 10. — Nahnsen, M., Über die Gesteine des norddeutschen Korallenooliths, insbesondere die Bildungsweise des Ooliths und Dolomits. N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont. Beil. Bd. XXXV, S. 277—351, 1913. — Pfaff, F. W., Beiträge zur Erklärung über die Entstehung des Magnesits und Dolomits. N. Jahrb. f. Mineral., Geol. u. Paläont. Beil. Bd. IX, 1894. — Philippi, E., Über einen Dolomitisierungsvorgang an südalpinem Conchodon-Dolomit. N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont. Jahrg. 1899, Bd. I, S. 32. — Philippi, E., Über Dolomitbildung und chemische Abscheidung von Kalk in heutigen Meeren. N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont. Festband 1907, S. 397—445. — Prather, J. K., Glauconite. Journ. of Geol. Bd. XIII, S. 509—513, 1905. — Ratzel, A., Über ein Vorkommen von Tripel im Muschelkalk des Badischen Baulandes. Ber. üb. d. Versamml. d. Oberrh. Geol. Vereins zu Heidelberg 1909, S. 110—111. — Rosza, Fledermausguanolager bei Budapest. Naturwiss. Wochenschr. N. F. XVI, Nr. 31, S. 434. 1917. — Rothpletz, A., Radiolarien, Diatomaceen und Sphärosomatiten im Kieselschiefer von Langenstriegis. Zeitschr. d. Deutsch Geol. Ges. 1880. — Spangenberg, K., Die künstliche Darstellung des Dolomits. Diss. Jena 1913. — Walther, J., und Schirlitz, R., Studien zur Geologie des Golfes von Neapel. Zeitsch. d. Deutsch. geol. Gesellsch. Bd. XXXVIII, S. 295—341, 1886. — Weed, Walter Harvey, Formation of Travertine and Siliceous Sinter by the Vegetation of Hot Springs. U. S. Geol. Sur. 9th ann. rep. S. 613—676, 1880. — Wepfer, E., Über Schwammgesteine aus den jüngeren Bohnerztonen des südlichen Baden. Centralbl. f. Min., Geol. u. Paläont. Jahrg. 1910, Nr. 1, S. 10—17. — Wilckens, O., Radiolarit im Culm der Attendorn-Elsper Doppelmulde (Rheinisches Schiefergebirge). Monatsb d. Deutsch. Geol. Gesellsch Bd. LX, Jahrg. 1908, Nr. 12, S. 354.

20. Die Kohlengesteine

Alle Pflanzen bestehen aus C, H, O, N und kleineren Mengen von S, P, Ka, Ca, Mg, Fe; wenn auch nur eines dieser Elemente fehlt, ist keine normale Entwickelung der Pflanze möglich. Manche Pflanzen enthalten außerdem kleinere oder größere Mengen von Na, Cl, Si, Al und J. Doch kann man sie auch ohne diese Stoffe kultivieren.

Da die meisten der Kohlen und Kohlengesteine aus umgewandelten Pflanzengeweben entstehen, müssen dieselben wesentlich aus C, H, O, N und S mit Beimengungen der genannten anderen Elemente bestehen.

Welchen Anteil Tierleichen am Aufbau der Kohlengesteine nehmen, läßt sich schwer einschätzen, doch deuten die in Steinkohle verwandelten Fischreste aus dem Oldred von Achanarras und vereinzelte Funde von Zahnreihen sowie Bohrgänge von Insektenlarven innerhalb der amorphen Braunkohle im Lignit darauf hin, daß auch manche Kohlen

animalischen Ursprungs sind. Sie dürften an einem gewissen Gehalt von P. erkennbar sein.

Der wichtigste Bestandteil aller Kohlengesteine ist C und deshalb ist die Frage nach der Bildung der Kohle zunächst ein mit dem C-Kreislauf zusammenhängendes Problem. Aus den eruptosen Gasen des Erdkerns dringen große Mengen von CH_4 und CO_2 durch die Erdrinde in das Meer und die Atmosphäre und verteilen sich darin infolge der beständigen Bewegung. Diese Gase werden zum Teil bei der Verwitterung und Karbonatbildung gebunden oder durch die Tätigkeit chlorophyllhaltiger Pfanzenzellen unter dem Einfluß des Sonnenlichtes innerhalb der lebendigen Substanz in organische Stoffe verwandelt.

In 10000 Liter normaler Luft sind 3 Liter (= 7 gr) CO_2 enthalten, deren C-Gehalt 2 g wiegt. Ein Baum von 5000 Kilo Trockengewicht enthält etwa 2500 Kilo C, zu deren Erwerb seine Blätter also 12 Mill. Kubikmeter Luft verbraucht haben.

Der C-Gehalt unserer irdischen Atmosphäre beträgt etwa 800 Billionen Kilo und würde also hinreichen, um die Vegetation der Erde für lange Zeit zu erhalten. Der CO_2-Gehalt des Meeres ist aber unvergleichlich höher; in 10000 Liter sind 1 Kilo CO_2 enthalten. Zwar können die Wasserpflanzen nur freie CO_2 gebrauchen, aber auch die gebundenen Gasmengen können wieder frei werden. Da nun die älteren Kohlen von Wasserpflanzen stammen, standen diesen so unermeßliche Vorräte für ihre Assimilation zu Gebote, daß alle Rechnungen, die man über das Schwanken des CO_2-Gehaltes der Atmosphäre infolge der Kohlenbildung angestellt hat, auf einem grundsätzlichen Irrtum fußen.

Ein nicht geringer Teil der von den Pflanzen assimilierten CO_2 kehrt durch die Atmung und den Tod der Pflanzen und Tiere wieder in die Atmosphäre und Hydrosphäre zurück. Nur in den jeweils gebildeten Kohlen, Schalen und Kalkgesteinen wird sie für längere Perioden gebunden. Der CO_2-Gehalt der Luft und der Vadose wird aber beständig durch vulkanische Exhalationen vermehrt. Bekanntlich erfolgen diese Ausströmungen vornehmlich postvulkanisch, und der Gasgehalt des Magma sowie die Menge der hierbei aus dem Erdkern aufsteigenden CO_2-Menge steht in keinem ursächlichen Verhältnis zu der Masse der gleichzeitig ausgestoßenen Laven und Tuffe. Es ist daher nicht berechtigt, aus der Verteilung der in einem geologischen Zeitraume ausgeflossenen Magmagesteine die Menge der CO_2, die gleichzeitig in die Atmosphäre gelangt sein müsse, zu berechnen, um so weniger, da wir gar keinen Maßstab für die großen Mengen von C-haltigen Gasausströmungen besitzen, die aus unterirdisch erstarrenden Magmaherden ununterbrochen in die Erdrinde eindringen und von hier aus in die Hydrosphäre und Atmosphäre gelangen, oder bei untermeerischen Eruptionen frei werden. Alle Schlüsse, die man aus den vermeintlichen Schwankungen der freien

Mengen von CO_2 auf paläoklimatische Zustände (Eiszeit, Kohlenbildung usw.) gezogen hat, sind unhaltbar — es gibt keinen Weg, um den CO_2-Gehalt der Atmosphäre oder der Hydrosphäre in einem bestimmten Zeitabschnitt der Erdgeschichte auch nur zu schätzen.

Pflanzenphysiologische Experimente haben gezeigt, daß die Stärke des Pflanzenwachstums nicht in direktem Verhältnis zum CO_2-Gehalt der Umgebung steht. Jede Pflanze ist vielmehr auf ein harmonisches Optimum desselben abgestimmt. Ein längerer Aufenthalt in kohlensäurereicher Luft schädigt ihr Gedeihen, es entstehen abnorme Wuchsformen und die Fähigkeit zum Blühen geht verloren.

Aber wenn wir auch nicht die Menge der an einem bestimmten Ort und zu einer bestimmten Zeit gebildeten Kohlengesteine auf Schwankungen im CO_2-Gehalt der Atmosphäre zurückführen dürfen, so ist dagegen die Menge des Sonnenlichtes von um so größerem Einfluß auf die Vegetation. Denn im Grunde genommen ist es die verwandelte Energie der Ätherschwingungen, welche in den Lebenserscheinungen der Pflanzen und Tiere ebenso wie bei der Verbrennung von Kohle wieder frei wird.

Da nur die roten, orangen und gelben Lichtstrahlen für die Assimilation in Frage kommen, und diese im Wasser rasch absorbiert werden, ist Pflanzenleben nur auf dem Festland und in der obersten Wasserschicht möglich. Bei 50 m verarmt schon die Meeresflora und unterhalb 100 m ist meist jedes marine Pflanzenleben zu Ende.

Die Frage, ob die Kohlengesteine vorwiegend im Meere oder auf dem Lande gebildet worden sind, hat vielen wissenschaftlichen Streit hervorgerufen. Schon Naumann unterschied die paralischen Flöze (wie wir sie im Karbon von Belgien, Aachen, Westfalen und Oberschlesien in Zusammenhang und Wechsellagerung mit marinen Schichten beobachten) von den limnischen Flözen im Saargebiet, Sachsen und Böhmen ohne marine Zwischenschichten. Da man am Boden des Meeres heute nirgends Kohlensteine entstehen sieht, dagegen in allen Breiten auf dem Festland so zahlreiche Torflager wachsen, hat sich die Ansicht befestigt, daß auch alle fossilen Kohlengesteine ursprünglich als Torfmoore über dem Meeresspiegel bodenständig (autochthon) entstanden und daß höchstens die bodenfremden (allochthonen) Kohlen am Boden küstennaher Meeresbuchten „zusammengeschwemmt" worden seien.

Als besonderes Kennzeichen der Bodenständigkeit galten die entweder inmitten der Kohle oder in den wechsellagernden Sandsteinen und Letten mit ihren Wurzeln aufrecht eingeschlossenen Stämme. Man hat zunächst die Beweiskraft dieser Wurzelstöcke dadurch zu entkräften versucht, daß man glaubhaft machte, ein mit Steinen beschwerter Baum könne in fließendem Wasser auch in senkrechter Stellung verfrachtet und allochthon wieder abgesetzt werden. Aber da solche Stämme innerhalb der

Flöze ganz örtlich verteilt sind, ihre oft riesige Masse jeden Wassertransport ausschließt und sie augenscheinlich bei der Bildung der Kohlenmasse nur eine ganz untergeordnete Rolle gespielt haben, begegnet man neuerdings nur selten dem Hinweis auf diese früher für so wichtig gehaltene Erscheinung.

Viel entscheidender für die Frage nach der Bodenständigkeit der Kohle ist ihre Reinheit an Aschenbestandteilen, ihre scharfe Überlagerung durch oftmals ganz helle Sandsteine oder Schiefertone und die überraschende Seltenheit von Sandschmitzen oder Geröllzungen inmitten der Flöze.

Kein Fluß ist imstande, nur Pflanzenreste mit Ausschluß aller sandigen oder tonigen Flußtrübe zu verfrachten, kein Mündungsarm seines Deltas wird mit reinem aschenfreien Moder zugeschwemmt — nur wo Generationen von bodenständigen Pflanzen übereinander wachsen, können Kohlenschichten entstehen.

Man hat zunächst gedacht, daß die Seegrasgebiete und Tangzonen der heutigen Meere ein gutes Beispiel rezenter Kohlenbildung abgeben. Die Laminarien und Fucusdickichte des Nordens, die Sargassumbestände der warmen Meere, wie die riesigen Macrocysten der antarktischen Küsten schienen für eine solche Ansicht zu sprechen. Aber man beachtete dabei nicht, daß alle diese Tange lufterfüllte Gewebe haben, um ihre Blätter und Zweige im Wasser flottierend zu halten. Wenn sie vom Sturm abgerissen werden, dann treiben sie lange Strecken an der Meeresoberfläche und werden endlich an fernen Küsten über dem Wasserspiegel angehäuft. Nördlich von Australien in der Arafurasee sah ich zwei Tage lang zahllose braungelbe Tangballen von $^1/_2$ m Dicke und 2 m Länge am Schiff vorbei ostwärts treiben; wo diese Strömung zwischen den Korallenriffen der Torresstraße gehemmt wird, mögen sich ungeheure Massen von Tanggewebe anhäufen, deren Jodgehalt vielleicht in dem kohligen Gestein nachzuweisen wäre.

In der Gegenwart bilden sich allerdings pflanzliche Modergesteine in der Regel über dem Meeresspiegel, auf festländischem Untergrund, und zwar fast in allen Breiten.

In den Polargebieten ist das Pflanzenleben freilich wegen der Kälte und der langen lichtlosen Winternacht verkümmert. Sobald aber die Schneedecken schwinden und der gefrorene Boden beweglich wird, sproßt eine blumenreiche Flora niedriger Kräuter empor, um ebenso rasch wieder zu vergehen. Zwar bleiben überall braune Torfmengen unzersetzt im Boden verteilt, aber es kommt doch nicht eigentlich zur Bildung reiner Moderschichten.

Um so ausgedehnter und mächtiger entwickeln sich solche in den regenfeuchten Küstengebieten an der Grenze der Polarregion. Die steilen Quarzitklippen im Überschiebungsgebiet des nördlichen Schottland tragen

vielfach eine meterdicke Torfdecke, in welche man bis zum Knie einsinkt, und weite sumpfige Senken sind mit mächtigen Moorlagern erfüllt.

In der humiden Zone spielen heute bei der Bildung und Anhäufung verwester Zellulose die Laubmoose eine maßgebende Rolle. Aber Laubmoose kennen wir erst seit dem Tertiär. Sie kommen kaum für die Bildung tertiärer Kohlen in Frage und es ist schon aus diesem Grunde unrichtig, die Entstehung aller vortertiären Kohlen durch die heutigen Torfmoore erklären zu wollen. Ihre Eigenart, große Mengen von Wasser aufzuspeichern, äußert sich darin, daß sie nicht nur unterhalb des Grundwasserspiegels von stehenden Gewässern wachsen, sondern auch als Hochmoore über ihn emporsteigen.

An der Ostküste von Nordamerika finden sich zwischen 30° und 35° nahe dem Meere wasserbedeckte Niederungen, in denen neben niederen Pflanzen zahllose Sumpfzypressen gedeihen. Hier entstehen beträchtliche Anhäufungen von kohligen Gesteinen, die als rezentes Beispiel vieler Braunkohlenlager gelten dürfen.

Je mehr wir uns der ariden Zone nähern, desto spärlicher wird die Pflanzendecke und desto seltener werden die Moore. Aber selbst mitten in der Wüste sind salzige Seen von einem so dichten Kranz von Schilf, Algen, Tamarisken u. a. umgeben, daß auch hier kohlereicher Faulschlamm entstehen kann.

Das üppige Pflanzenleben der regen- und lichtreichen Tropenzone scheint für die Bildung von Kohle sehr geeignet — aber besondere Umstände verhindern gerade hier deren Speicherung. Im Urwaldlaboratorium zu Tjibodas auf Java hatte ich im Herbst 1914 Gelegenheit, diese Frage eingehend zu prüfen. Hier, wo es sonst an jedem Tage regnet und die jährliche Niederschlagshöhe 5 m erreicht, waren ausnahmsweise 4 Monate ohne Regen vergangen und so hatte ich eine ganz einzigartige Gelegenheit, einen „vertrockneten Regenwald" zu untersuchen.

Die Epiphyten an den Bäumen waren verdorrt, dicke Blattschichten bedeckten den Boden und der gelichtete Urwald bot Gelegenheit, jeden Aufschluß, der durch das Umstürzen eines Baumriesen oder einen Wasserriß entstanden war, auf weite Entfernung zu erkennen. In diesem Gebiet, aus dem so viele Beobachter „dicke humose Decken" beschrieben hatten, fand ich über dem gelben Tuff nur eine 10—20 cm dicke, grau gefärbte Oberschicht. Ein Teich im Garten von Tjibodas war halb ausgetrocknet und mit scharfer Grenze schnitt der noch feuchte, dunkle Schlamm an dem abgetrockneten, silbergrauen Sediment ab.

Es kann demnach keinem Zweifel unterliegen, daß die dunkle Farbe des Urwaldbodens durch Austrocknen verschwindet und also weniger durch verweste Zellulose als durch vergängliche (Schwefeleisen?) Bodenbestandteile bedingt sein muß.

Bei meinen Streifzügen durch den Urwald habe ich mir oftmals die Frage vorgelegt, welche Menge von Pflanzensubstanz in der gesamten Waldmasse enthalten sei, und gewann den Eindruck, daß der hohe, formenreiche Wald vielleicht zu einer etwa 20 cm mächtigen Zelluloseschicht zusammengepreßt werden könnte.

Die Lebensdauer einzelner Baumriesen mag eine verhältnismäßig lange sein, aber im allgemeinen dürfen wir bei der Wachstumsgeschwindigkeit der meisten tropischen Pflanzen annehmen, daß diese Zellulosemenge in 10 Jahren erzeugt wird.

Wenn nun von allen den Blättern, Zweigen und Stammteilen, die hier seit Jahrhunderten gebildet wurden, so geringe Spuren auf dem Boden des Urwaldes zu finden sind, so liegt dies an den zellulosezerstörenden Bakterien, die unter dem Einfluß des warmen, feuchten Klimas tätig sind. Sie bemächtigen sich jeden Pflanzenrestes und verwandeln ihn schließlich in flüchtige Gase.

Selbst in der pflanzenreichen Tropenzone speichern sich also die vermodernden Pflanzenreste nur da, wo der Urwaldboden dauernd feucht gehalten wird oder der Grundwasserspiegel über ihm steht.

Daher können wir in dem lokalen Auftreten von tropischen Mooren keinen Beweis für die „Tropennatur“ der Kohlenlager erblicken. Das Moor von Nurellia auf Ceylon habe ich 1888 untersucht und kann nichts Befremdendes darin finden, daß dort über einem vertonten und laterisierten Gneis in 2000 m Meereshöhe (wo ich im Februar noch Frostnächte erlebte) moorige Sumpfböden entstehen.

Unter allen Gebieten der heutigen Erdoberfläche scheint dagegen das Klima der südamerikanischen Westküste von der Magelhaensstraße bis zu 40° südlicher Breite, besonders aber des Chonos-Archipels, für Moor- und Kohlenbildung am günstigsten zu sein. Darwin schreibt darüber: „Im Winter ist das Klima schaudervoll und im Sommer ist es nur ein wenig besser; ich glaube, es gibt innerhalb der gemäßigten Zonen wenige Teile der Erde, wo soviel Regen fällt. Die Winde sind sehr stürmisch und der Himmel beinahe immer bewölkt. Das ganze ebene Land wird von dichten Beständen von Astelia pumila und Donatia magellanica und zahlreichen anderen Formen bedeckt, die zu Torf zerfallen. Zwei Meter dicke, immergrüne Buchenbäume und hohe Gräser — alles zerfällt zu braunem Moder, der an manchen Stellen 4 m mächtig wird. Die Wälder sind für Menschen und Tiere undurchdringlich und werden nur von wenigen, aus nebeneinander gelegten viereckigen Holzklötzen gebauten Wegen gekreuzt. In den Tälern ist es kaum möglich fortzukriechen, so vollständig sind sie von großen vermodernden, nach allen Richtungen hin umgestürzten Baumstämmen verbarrikadiert. Geht man über diese natürlichen Brücken, so versinkt man knietief in das verfaulte Holz, und wenn man versucht, sich an einen festen Stamm anzulehnen, so erschreckt

man, eine Masse zerfallener Substanz zu finden, bereit, bei der geringsten Berührung umzustürzen." Eine gleichmäßige, niedrige Temperatur, ununterbrochene Regengüsse und ein nebelreicher Himmel vereinigen sich hier in der Nähe des Meeres, um nicht nur einen sehr üppigen Pflanzenwuchs zu fördern, sondern die gebildete Zellulose in amorphen Moder zu verwandeln, der sich unter dem hohen Grundwasserspiegel anhäuft und erhält.

Wenn man liest, daß mitten zwischen diesen immergrünen, moderbildenden Buchenwäldern die saphirblauen Gletscherzungen bis nahe an den Meeresspiegel herabreichen, so wird man an die Schichtenfolge im australischen Perm erinnert, wo die Moränen mit Kohlenschichten wechsellagern.

So verschiebt sich also die Bedeutung des Wassers für die Kohlenbildung in der Weise, daß große Mengen von Zellulose sowohl unter wie über dem Wasser entstehen, aber nur unter dem Wasserspiegel zu mächtigen Lagern angehäuft werden können. Es ist eine Frage der Physiologie, welche Mengen von Pflanzen wachsen, aber ein Problem der Hydrographie, wieviel davon erhalten bleibt.

Wo größere Wasserflächen unverdunstet stehen bleiben, sei es, daß der Untergrund vertont ist oder aus wasserundurchlässigen Gesteinen besteht, sei es, daß der Grundwasserspiegel gehoben wird oder eine geringe Senkung weiter Flächen erfolgte, können ebenso wie im Gebiet des flachen Meeres größere Mengen von Pflanzen vermodern und aufgespeichert werden.

Viele Forscher haben die Ursache der Kohlenbildung in dem Vorwiegen bestimmter Pflanzengenossenschaften gesucht und die vergleichende Betrachtung unserer heutigen Torfmoore schien diese Annahme zu stützen. Die Häufigkeit von Sumpfmoosen und Birken auf unseren nordischen Mooren wie die von wohlerhaltenen Stämmen der Sumpfzypresse in den Braunkohlenflözen und von Lepidodendron-Stämmen mit Stigmaria-Wurzeln schien die Frage für Gegenwart, Tertiär und Karbon zu entscheiden.

Aber gerade das eingehendere botanische Studium der artenreichen Moorfloren durch Keilhack, Weber u. a. und der Nachweis, daß das Hauptwachstum derselben gleich nach dem Ende der Diluvialzeit eingesetzt haben muß und in prähistorischer Zeit schon beendet war, zeigt deutlich, welchen Einfluß allgemein klimatische Umstände bei der Vertorfung spielen und gespielt haben müssen.

In Deutschland erhielt die Erforschung der Kohlenbildung dadurch eine ganz besondere Richtung, daß wir eigentlich nur zwei sehr altersverschiedene und unter ganz eigenartigen, nicht zu vergleichenden Umständen gebildete Kohlenablagerungen, die Steinkohlen und Braunkohlen kennen. So wurde der Gegensatz von steiniger Steinkohle und

11*

erdiger Braunkohle nicht nur ein Problem verschiedener Zeiträume und grundsätzlich verschiedener Floren, sondern man verknüpfte damit Betrachtungen über die diagenetische Verwandlung lockerer Modermassen bis zu dichtem Anthrazit und kristallinischem Graphit.

Die für diese grundverschiedenen Gesteine so wichtigen lithologischen Bildungsumstände wurden darüber fast übersehen — ähnlich wie die Verteilung vulkanischer Lavagesteine in der deutschen Perm- und Tertiärzeit zu einer Systematik der Eruptivgesteine führte, bei welcher chronologische und lithologische Grundsätze vermischt wurden.

Der erdgeschichtliche Gegensatz zwischen der Karbonperiode und der Tertiärzeit einerseits und der postdiluvialen Gegenwart anderseits ist so groß, daß man die Kohlenbildung nicht als eine fortlaufende lithologisch homologe Reihe auffassen darf, die mit dem Torf beginnend, durch die Braunkohle, die Steinkohle bis zum Anthrazit und Graphit fortlaufend weiterführt.

Wenn wir die Kohle nicht im isolierten Handstück betrachten, sondern ihre Lagerung und Einschaltung zwischen gleichzeitig gebildeten Fazies in den Vordergrund stellen, ergibt sich erdgeschichtlich eine Dreiteilung der Kohlengesteine:

I. Alle präkarbonischen Kohlen wechsellagern mit marinen Gesteinen, sind meist reich an anorganischen Trümmern und enthalten marine Fossilien, die als passive Drift herbeigetragen wurden oder auf und in dem marinen Pflanzenmoder gelebt haben. Sie besitzen nur geringe Mächtigkeit und treten als seltene Einlage mitten zwischen marinen Schichten auf.

Ein 2 m mächtiges Anthrazitflöz im vergneisten Algonkium von Kanada ist vielleicht gleichalterig mit zwei Kohlenlinsen, die man im blauen vorkambrischen Ton von Kunda erbohrte; an der Basis des nordamerikanischen Silur fand Lesquereux eine dünne Kohlenschicht; die Graptolithenschiefer enthalten nach Zirkel 23 % C und 4 % S; eine versteinerungsreiche kohlige Schicht zieht sich nach Zimmermann durch das Oberdevon von ganz Deutschland und wurde bei Neunkirchen sogar bergmännisch gefördert; auch im Gouvernement Tula fand v. Helmersen devonische Kohlen wechsellagernd mit marinen Kalken.

II. Die Steinkohlen-Zeit setzt mit dem Unterkarbon ein und reicht bis zum Unterperm. Zunächst treten nur spärliche Flöze auf, dann wächst ihre Zahl und Mächtigkeit, endlich klingen sie mit kleinen Kohlenschmitzen aus. Das Maximum der Kohlenbildung liegt in Europa und Nordamerika im Oberkarbon, dagegen in Ostindien, China und Australien im Unterperm. Bezeichnend für die karbonisch-permische Kohle ist zunächst die große Reinheit der organischen Masse, dann die Mächtigkeit der einzelnen Flöze und endlich ihre Wechsellagerung mit ungemein mächtigen anorganischen Trümmergesteinen.

Ein Blick auf unsere Tabelle S. 32 zeigt sofort, welche merkwürdige Ausnahmestellung die Mächtigkeit des Oberkarbons in Deutschland einnimmt, und ähnliche große Mächtigkeiten beobachten wir in allen anderen Steinkohlengebieten. Die Kohlen des Donetzbeckens liegen zwischen 11000 m anderen Gesteinen, die permischen Kohlen von Australien sind mit Trümmergesteinen von 5000 m verbunden.

Während die präkarbonen Kohlen als submarine Bildungen betrachtet werden müssen, zeigen sich die karbonisch-permischen Kohlen in sehr verschiedenem Lagerverband. Die Kohlen von England, Belgien, Aachen, Westfalen, Oberschlesien und der Ukraine wechsellagern mit rein marinen Schichten, aus denen hervorgeht, daß sie an der Grenze zwischen Meer und Süßwasserbecken (paralisch) entstanden sein müssen, während die Kohlen des Saarreviers, von Sachsen, Niederschlesien und Böhmen (als limnische Bildungen) fern vom Salzwasser gebildet wurden.

Andere Kohlen (Pfalz, Thüringen, Böhmen) entstanden innerhalb eines vulkanischen Gebietes, in kleinen vergänglichen Seen, die zwar eine reiche Fisch- und Stegocephalenfauna, aber keine marinen Siedler enthielten.

Sehr merkwürdig ist die zuerst von Weithofer erkannte Tatsache, daß viele Kohlen im Liegenden und Hangenden von roten Letten, Sandsteinen und Konglomeraten umgeben werden, die in der Nähe der Kohlen grau entfärbt werden, in denen aber zahlreiche Arkosen auf aride Wüstenerscheinungen schließen lassen.

Wenn wir endlich an die Verbindung der australischen und südafrikanischen Kohlen mit permischen Blocklehmen glazialer Natur erinnern, so ergibt sich die völlige Unabhängigkeit der steinkohlebildenden Pflanzen von den klimatischen Umständen des Festlandes.

Zu demselben Schlusse gelangen wir bei Betrachtung der geographischen Verbreitung der Steinkohlen. In Europa treffen wir die Oberkarbonkohlen von 56° nördlicher Breite bis zu 40° auf Sardinien, in Nordamerika reichen sie vom 45° nördlicher Breite bis zum 27°, während die permischen Kohlen in China mit etwa 40° nördlicher Breite beginnen, in Australien bis zu 40° südlicher Breite reichen, und dieselben in Afrika vom Zambesi bei 16° bis zum Kapland 33° südlich verbreitet sind.

Wenn man auch, um diese weite geographische Verbreitung der karbonischen und permischen Kohlenflöze zu erklären, eine allgemeine Erniedrigung der kosmischen Temperatur annehmen oder die Erdpole bis nach dem Äquator verschieben wollte, so würden doch festländische Pflanzen nie eine derartige Unabhängigkeit von den Breitengraden zeigen.

Nehmen wir aber an, daß die eigentlichen Kohlenpflanzen untergetaucht im Wasser lebten, und vielleicht nur ihre Blütenstände über dessen Spiegel emporragten, dann wird ihre riesige geographische Verbreitung leicht verständlich.

Die Schachtelbäume, Sigillarien, Schuppenbäume und einzelne Farnblattgewächse mögen sich schon über das Sumpfgebiet der Kohlenbecken erhoben und mit ihren malerischen Blattkronen dichte Bestände gebildet haben. Aber wenn wir Reste derselben mitten in der amorphen Kohle erkennen, so zeigt gerade diese Tatsache, daß die Masse der dichten Steinkohle von anderen vergänglichen Wasserpflanzen gebildet worden ist, die unter dem Wasserspiegel, in dichtem Rasen wachsend, durch ihre rasche Vermehrung und ihren raschen Zerfall so ungeheure Massen von Pflanzenmoder bildeten.

Für das Leben der meisten karbonischen Pflanzen unter Wasser spricht auch die von Reis, Barrois u. a. hervorgehobene Tatsache, daß manche Farnblätter mit kleinen Kalkröhren von Palaeorbis besetzt sind, einem nur unter dem Meeresspiegel lebenden Tier, und daß ähnliche Schälchen, die auf rezenten Tangblättern wachsen, zwei Windungen in 6—8 Wochen bilden. Diese Farnblattgewächse müssen also mindestens 6 Wochen unter dem Spiegel des salzigen Meer- oder Brackwassers gewachsen sein

Wenn wir sehen, wie viele Steinkohlenpflanzen ein reich entwickeltes System von Sumpfwurzeln besaßen, besonders geeignet zum Wachsen auf leichtbeweglichem Untergrund; daß an ihrer Achse beim Einsinken in der schlammigen Unterlage zahlreiche Wurzelkränze immer neu entstanden sein müssen; wenn wir uns erinnern, daß selbst die dicken und großen Stämmen karbonischer Baumgewächse kein rhythmisches Wachstum (Jahresringe) erkennen lassen, wie wir es durch den Wechsel verschiedener Temperatur oder Feuchtigkeit in allen späteren Holzgewächsen entstehen sehen — so kommen wir zu dem Schluß, daß die eigentlichen karbonischen Steinkohlenbildner nicht nach Art unserer rezenten Moorpflanzen auf dem Festland wurzelten, sondern vielmehr Wasserpflanzen waren, die während ihrer erdgeschichtlichen Wanderung vom Meer auf das Festland innerhalb eines brackischen Litoralgebietes so intensiv ausgejätet, vernichtet und ausgelesen wurden, daß die Mehrzahl der karbonischen Geschlechter zugrunde ging, ohne Nachkommen zu hinterlassen.

Die Bildung der Steinkohle aus der im Wasser gelösten Kohlensäure zerfällt demnach in fünf grundverschiedene Vorgänge:

1. Assimilation der freien Kohlensäure unter dem physiologischen Einfluß des Sonnenlichts in grünen Pflanzenteilen,
2. physiologische Spaltung der Kohlensäure in ihre Elemente und Aufbau derselben, verbunden mit N, H und S, zum Pflanzengewebe,
3. Gewebezerfall der Pflanzen in erdigen strukturlosen Moder (Humus) unter dem biologischen Einfluß von Zellulosebakterien, Moderpilzen und anderen Lebewesen,

4. **Aufspeicherung** des erdigen Pflanzenmoders bei Luftabschluß durch sofortige **hydrographische** Überdeckung mit Wasser- oder Sedimentschichten infolge **lithogenetischer** Vorgänge,
5. **Eindichtung** des erdigen Pflanzenmoders zu harter fester Steinkohle unter der Einwirkung **geologischer** Kräfte.

Wichtig ist hierbei vor allem die **Überlagerung** durch mächtige hangende Gesteine. Aber der Druck derselben und die damit zusammenhängende Raumverminderung kann hierbei nur eine geringe Rolle spielen. v. Gümbel zeigte, daß die Kohlenrinde eines 9 cm dicken, aufrechtstehenden Calamitenstammes fast genau so dick ist wie die eines liegenden und zusammengepreßten Schachtelbaumes von 10 cm Durchmesser.

Dagegen scheint die **geothermische Tiefenstufe**, bis zu welcher eine erdige Kohlenschicht hinabsank, für ihre Eindichtung von großer Bedeutung zu sein.

Wenn in oberkarbonischen Sandsteinen in Sachsen Gerölle aus unterkarbonischer Steinkohle gefunden werden, so muß die Eindichtung der letzteren schon während der Mittelkarbonzeit erfolgt sein.

Wenig bekannt sind die Vorgänge, die erdige Kohle in Anthrazit oder Graphit verwandeln oder die Kulmpflanzen des Frankenwaldes als weiße Überzüge auf dunklem Schiefergrund erhalten haben.

III. Alle **postkarbonen Kohlen** sind außerhalb des Meeres entstanden, wechsellagern nicht mit marinen Schichten und sind ebensowenig mit mächtigen Trümmergesteinen verbunden.

Im allgemeinen sind aber in Mitteleuropa die Kohlengesteine vom Oberrotliegenden bis zum Tertiär überaus selten, trotzdem in diesen langen Zeiträumen reiche Floren einander ablösten. Der Kohlengehalt des Kupferschiefers, kleine Einlagerungen im Wellenkalk, die Lettenkohle, dunkle bituminöse Letten in Lias, Dogger und Senon können kaum als „Kohlen" betrachtet werden und nur die Wälderkohlen von Bückeburg gewinnen technische Bedeutung. Es folgt daraus, daß die Menge der jeweils gebildeten Pflanzensubstanz für die Bildung von Kohlenlagern weniger wichtig ist wie die Bedingungen, welche Pflanzenmoder aufspeichern. Denn in Asien entstanden während der Mittelzeit mächtige Kohlenlager.

Dann aber beginnt in Deutschland eine eigenartige Kohlenbildung, die sich durch die ganze Tertiärzeit bis zu den Torfmooren der Gegenwart verfolgen läßt und deren Lagerungsweise von allen älteren Kohlen grundsätzlich verschieden ist.

In der Tertiärzeit entstanden zunächst mehrere große tektonische Senkungsgebiete (Voralpen), in denen erdige Kohle gebildet und bei der folgenden Faltung als dichte Pechkohle wieder emporgehoben wurde. Andere Braunkohlensümpfe wurden durch Flußablagerungen (Kölner Bucht) oder vulkanische Gesteine (Hessen, Böhmen, Lausitz) zugedeckt und gelegentlich durch Kontakthitze in dichte Kohle verwandelt.

Aber die zahlreichen mächtigen Braunkohlenflöze von Mittel- und Ostdeutschland bildeten sich unter ganz besonderen geologischen Umständen: Dieselben tektonischen Bewegungen, welche seit dem Beginn der Tertiärzeit das Gelände veränderten und deutsche Mittelgebirge hoben, gaben dem unterirdischen Wasser vielfältige Gelegenheit, zu den in der Tiefe lagernden permischen Salzlagern zu dringen. Viele wurden aufgelöst, andere gerieten in jene seltsame molekulare Bewegung, die Lachmann als „Salzauftrieb“ zuerst richtig erkannt hat. Während überall die Salzstöcke ganz langsam bis zum Salzspiegel emporstiegen, bewegten sich andere benachbarte Flächen ebenso langsam in die Tiefe. Diese Senkungen waren nicht durch Auslaugung von Salzstöcken bedingt, denn auf diesem Wege entstehen die charakteristischen trichterförmigen Erdfälle. Vielmehr handelte es sich um säkulare Bodenbewegungen.

Auf den bei der eozänen Laterisierung feldspatreicher Gesteine entstandenen Tonflächen bildeten sich weite Sümpfe, in denen eine üppige Flora lebte und starb, so daß der Moder unter dem flachen Wasserspiegel so lange aufgespeichert wurde, als die Senkung des Bodens andauerte.

Aber immer wieder kamen aufsteigende Salzstöcke zur Ruhe und der Senkungsvorgang begann in einem nahen oder entfernteren Nachbargebiet. So geschah es, daß immer neue Kohlenbecken entstanden und daß wir die eozänen, oligozänen, miozänen und pliozänen Braunkohlenlager fast niemals übereinander, sondern nebeneinander finden. Von einem geringmächtigen Deckgebirge überlagert, in ursprünglicher erdiger Beschaffenheit, mit wohlerhaltener Holzstruktur der eingefügten Wurzelstöcke können sie jetzt leicht im Tagebau gewonnen werden.

Wenn die oft 2—3 m dicken Wurzelstöcke der Sumpfzypressen immer etwa in 2 m Höhe über ihren Wurzeln abgefault sind, so sieht man daran mit voller Klarheit, daß riesige Waldbäume, zwischen niedrigen Sumpfgewächsen wachsend, allmählich im Moder versanken und, sobald ihre Basis zu tief unter den Wasserspiegel kam, abstarben.

Nur selten lagern sich Sand- oder Kiesschichten zwischen die erdige Braunkohle und kennzeichnen die Mündung eines randlich einströmenden Flusses. Dagegen beobachten wir oft eine Bänderung innerhalb der gleichartigen Kohle, die auf eingewehtem Staub beruhen dürfte.

So entstanden die mitteldeutschen Braunkohlen in weiten Senkungsbecken nach- und nebeneinander, kamen niemals durch weitergehende Sedimentation und Schichtüberdeckung in wärmere Zonen der Erdrinde, wurden nicht von den warmen Diffusionsströmungen der Lithose verändert und sind heute noch ebenso erdig wie zur Zeit, als ihr Pflanzengewebe zu Moder zerfiel.

Vergleichen wir die Lagerung der karbonischen Kohlen mit diesen lithologischen Umständen, dann erkennen wir, daß nicht die Länge der

Zeit, sondern bestimmte diagenetische Umstände aus erdiger mürber „Braunkohle" harte dichte „Steinkohle" erzeugten.

Literatur

Antevs, E., Das Fehlen resp. Vorkommen der Jahresringe in paläo- und mesozoischen Hölzern und das klimatische Zeugnis dieser Erscheinungen. Geol. Föreningens I, Stockholm 1916, S. 212. — Born, A., Der untersilurische Brandschiefer von Kuckers (Estland). Geol. Rundschau V. 1914, S. 313. — Brandt, B., Die Sümpfe Westrußlands. Zeitschr. d. Gesell. f. Erdkunde in Berlin, Jahrg. 1917, Nr. 5 u. 6. — Dorn, C., Der Liasschiefer und seine Bedeutung 1877. — Faber, F. von, Das erbliche Zusammenleben von Bakterien und tropischen Pflanzen. Jahrbücher f wissensch. Botanik, Bd. LI, H. 3, 1912. — Gremblich, J., Beginn der Torfbildung. 1877. — Glöckner, Über den Setzungskoeffizienten der Braunkohle. Z. d. d. geol. Ges. 1912, Mon. Ber. S. 306. — Groß, Ostpreußens Moore. Schr. physik. ökon. Ges. Königsberg 1912, S. 192. — v. Gümbel, Sitzungsber. d. Bayr. Akad. d. W., München 1883, S. 164. — Hellmann, G., Über die Herkunft der Staubfälle im Dunkelmeer. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch., Berlin 19 3, XIV. — Hilmersen, Ref N. Jahrb. f. Min. 1870, S. 364. — Jeffrey, Edward C., The Nature of Some Supposed Algal Coals Proc. of the Amer. Acad. of Arts and Science Bd. XLVI, S. 273—290, 1910. — Johnson, D. W., Botanical Phenomena and the Problem of recent Costal Subsidence. Botan. Gazette, Vol. LVI, No. 6, 1913, S. 449. — Keilhack, K., Über tropische und subtropische Torfmoore auf der Insel Ceylon. Jahrb. d. Geol. L.-Anst. Berlin 1915, S. 102. — Kunze, G., Über Säureausscheidung bei Wurzeln und Pilzhyphen und ihre Bedeutung. (Dissertation) 1906. — Graf zu Leiningen, W., Die Waldvegetation präalpiner bayerischer Moore. Naturw. Zeitschr. f. Land- und Forstwirtschaft 1907. — Lesquereux, N. Jahrb. f. Min. 1853, I, S. 522. — v. Linstow, Über gegenwärtige Bodenbewegungen. Z. d. d. geol. Ges. 1917, M Ber. S. 125. — Nathorst, A. G., Über die oberdevonische Flora (die Ursaflora) der Bären-Insel. Bull. of the Geol. Instit. of Upsala Nr. 8, Vol. IV, Part. 2, 1899. — Potonié, H., Die rezenten Kaustobiolithe und ihre Lagerstätten, Bd. I Abh. d. preuß geol. Landesanstalt, Neue Folge, Heft 55, 1908 — Potonié, H., Das Auftreten zweier Grenztorfhorizonte innerhalb eines und desselben Hochmoorprofils. Jahrb. d. preuß. geol. Landesanstalt 1908, Bd. XXIX, Teil II, Heft 2, S. 398. — Potonié, H., Die Bildung der Moore. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1909. — Potonié, H., Die Entstehung der Steinkohle und der Kaustobiolithe überhaupt, 5. Aufl, Berlin 1910. — Ramann, E., Einteilung und Bau der Moore. Zeitschr. der Deutschen geol. Gesellsch. Bd. LXII, S. 129—135, 1910. — Ramann, E, Organogene Ablagerungen der Jetztzeit. Neues Jahrb. f. Mineralog. usw., Beil.-Bd. X, S. 119. — Schmitz, G., Formation sur Place de la Houille. Revue des Questions Scientifiques 1906. — Scott, H., L'évolution des Plantes. Scientia Vol. XII, 1912, No. XXV – 5, S. 89. — Shaler, N. S., General Account of the Fresh Water Morasses of the United States with description of the Dismal Swamp District of Virginia and North Carolina. 10th Ann. Rep. of the Un. States, Geol. Sur. S. 253—339, 1890. — Solger, F., Die Moore in ihrem geographischen Zusammenhange. Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin 1905, Nr. 9, S. 702. — Walther, Salzlagerstätten und Braunkohlenbecken in ihren genetischen Lagerungsbeziehungen. Kali 1918, Heft 13. — Weber, C. A., Was lehrt der Aufbau der Moore Norddeutschlands über den Wechsel des Klimas in postglazialer Zeit? Zeitsch. d. Deutsch. geol. Gesellsch. Bd. LXII, S 143—162, 1910. — Weiß, E., Über die Entwicklung der fossilen Flora in den geologischen Perioden. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Gesellsch. Jahrg. 1877, S. 252. — Weithofer, München, Beiträge zur Kenntnis fossiler Kohlen. Zeitschrift für praktische Geologie XXII, Jahrg. 1914, Heft 7. — Weithofer, K. A., Die historische Entwicklung der Ansichten über die Entstehung der Kohlen und Kohlenflöze. N. Jahrb. f. Mineralogie Beil. Bd. XLI, S. 149—236, 1916. — Zirkel, Lehrb. d. Petrographie 1894, III, S. 756.

21. Die Kalksteine

Alle Kohlengesteine sind aufgelagert worden. Mögen sie reine Steinkohle, aschenarme Braunkohle oder ein Gemisch von sandigem Ton mit geringem Gehalt an verbrennbaren Bestandteilen darstellen, stets befanden sie sich zur Zeit ihrer Entstehung an der Oberfläche der Erdrinde, meist bedeckt von einem geschlossenen Wasserspiegel.

Bei den Kalkgesteinen müssen wir scharf zwischen den aufgelagerten reinen, oder mit anorganischen Trümmern gemischten Arten und den eingelagerten Kalken unterscheiden. Denn auf beiden Wegen können ganz ähnliche Gesteine entstehen, die sich nur durch die Gestalt ihres Bildungsraumes und ihr Gefüge unterscheiden lassen.

Das Problem der Kalkbildung wird dadurch verwickelt, daß viele Kalkmassen nachträglich in Dolomit, Eisenspat, Kupferkies oder Silikate verwandelt wurden, so daß auch die ursprünglichen chemischen Eigenschaften völlig verloren gingen.

Der Vollständigkeit halber müssen wir zunächst der Kalkmengen gedenken, die auf mechanischem Wege in ursprünglich kalkfreie Ablagerungen gelangt sind. Der Kalkgehalt des nordischen Geschiebemergels stammt wohl zum größten Teil aus der baltischen Kreide, die durch die vorrückende Eisdecke abgepreßt, in großen Schollen und kleinen Fetzen in die Grundmoräne geriet und bei deren langsamer Bewegung immer mehr darin verteilt wurde. Entspricht doch jedes Stück Feuerstein, das wir im Geschiebemergel finden, einer vielmal größeren Masse von Kreidekalk, der jenes auf erster Lagerstätte umgab und nun fein verteilt im Blocklehm enthalten ist.

Als am Schluß der diluvialen Vereisung die weitverbreiteten lockeren Moränen, von keiner Vegetation geschützt, den heftigen Stürmen preisgegeben waren und ungeheure Staubwolken überall ausgeweht wurden, konnten natürlich viel mehr leichte Kalkteilchen aufgewirbelt werden als schwere Quarzkörner, und so entstand ein verhältnismäßig noch kalkreicherer Löß.

Die eingelagerten Kalke sind stets chemisch ausgeschieden worden und stammen entweder aus den kalkreichen Magmagesteinen (Gabbro, Diabas, Augitporphyr, Melaphyr oder Basalt, die 10—15% Kalk enthalten können) oder aus älteren Kalksteinen, die wieder aufgelöst wurden und aus der kalkreichen Lithose ausfielen. Wir finden jene in Dampfblasen, Nestern der Eruptivgesteine und den Poren der Tuffe, diese auf Spalten, in Höhlen oder im Porenvolumen verkitteter Trümmergesteine wieder.

Die breiten Kalkspatgänge von Alabastron und der Umgebung von Kairo lieferten den „Alabaster“ für den Schmuck der Grabkammern ägyptischer Pharaonen. Zahllose Kalkspatgänge durchsetzen die Kalkmassen

der Alpen überall, wo Zugspalten zur Bildung von Kalktrümmern und buntgefleckten Marmorbreschen führten. Eingelagert wurden auch die bekannten Sinterfahnen, Stalaktiten und Stalagmiten der Kalkhöhlen. Sie werden in der Regel als Beweis dafür angeführt, daß das Höhlenvolumen durch Auflösung von Kalk entstanden sei. Aber wir werden noch zu zeigen haben, daß die meisten Höhlen in Kalkgebirgen ursprüngliche Rifflücken sind, die durch Sinterbildung verkleinert, aber nicht vergrößert werden. Denn die Lösungskraft des Wassers ist nicht nur durch seinen Gehalt an CO_2 und seine Temperatur bedingt, sondern ebensosehr durch die Oberflächen-Verteilung bestimmter Wassermengen. Das auf zahllosen feinen Spalten und durch kleine Gesteinsporen langsam sickernde Wasser wird viel größere Mengen von Kalk aufnehmen, als ein geschlossener Höhlenbach der rasch durch Lücken und Spaltenzüge rauscht.

Auch der Wiederabsatz des gelösten Kalkes ist keineswegs nur von der Menge des Wassers und der verfügbaren Zeit abhängig. Denn je langsamer dasselbe aus den Wänden der Höhle heraustritt und je trockener die Luft ist, desto rascher wachsen Stalaktiten, Sinterfahnen und Stalagmiten.

Der Überschuß der innerhalb eines kalkigen Gesteins bewegten Lithose kommt als harte Quelle zutage und hier werden die meisten gelösten Kalkmengen niedergeschlagen, besonders wenn das austretende Wasser warm oder das Klima der betreffenden Gegend trocken ist.

Oft entstehen hier lockere, erdige Sinterkrusten, dagegen sind die durch die römischen Bauten so berühmt gewordenen Travertine von Tivoli ebenso wie viele deutsche klingend harte Sinterkalke anderer Entstehung. Sie müssen als fossile Überreste eines anderen Klimas angesehen werden oder als Niederschläge aus warmem Wasser.

In den nordafrikanischen und syrischen Wüsten sind sinterbildende Quellen auffallenderweise sehr häufig und scheiden mächtige Kalkmassen ab, obwohl oder besser weil ihr Wasser unter dem Einfluß des Wüstenklimas völlig verdunstet.

Nicht eine regenreiche „Pluvialperiode“ mit einem Überschuß an lösendem und rasch bis zum Meere abfließendem Wasser begünstigt die Bildung von Kalksinter. sondern vielmehr ein regenarmes Klima mit hoher Verdunstung. Deshalb sind in Deutschland und Mittelitalien gerade in den interglazialen und postglazialen Trockenperioden so ausgedehnte und mächtige Decken von Kalksinter entstanden.

Das bekannteste geologische Beispiel für Kalkabscheidung ist der Sprudelkalk von Karlsbad.

Als dort im Jahre 1760 in der Umgebung der Kirche neue Grundmauern gelegt wurden, fand man ausgedehnte fossile Sintermassen, die zunächst zum Ausbessern der Straße verwendet, dann durch den Stein-

schneider J. MÜLLER gesammelt und geschliffen, von den Badegästen gern gekauft wurden. GOETHE beschrieb sie sogar in einer Abhandlung und trug wesentlich dazu bei, diese Stücke weiten Kreisen bekannt zu machen.

Die Erbsensteine oder Pisolithe werden seitdem in alle geologische Sammlungen eingeordnet, in allen Lehrbüchern erwähnt, aber merkwürdigerweise immer als ein noch heute entstehendes, rezentes Gestein behandelt, obwohl alle Versuche, die man gemacht hat, um unter dem Sprudelbecken künstliche Erbsensteine zu erzeugen, Sinterkugeln ergeben haben, die sich durch ihre gelbe oder braune Farbe grundsätzlich von den weißen fossilen Erbsensteinen unterscheiden. Sie sind nach KNETT in unterirdischen Lücken der Sprudelschale entstanden.

Leider hat eine entfernt äußere Ähnlichkeit mit den im mittleren Jura von England weit verbreiteten Oolithen schon frühzeitig die Hypothese entstehen lassen, daß auch diese rein marinen und als auskeilende Bänke aufgelagerten Kalkgesteine durch „untermeerische Quellen" gebildet worden seien.

Auch die im unteren Buntsandstein von Mitteldeutschland verbreiteten „Rogensteine" und die Schaumkalkbänke im deutschen Wellenkalk wurden mit den Erbsensteinen und den Oolithen zusammengestellt, und selbst in den Alpenkalken beschrieb GÜMBEL ähnliche Bildungen von wechselnden Dimensionen unter dem Namen „Riesenoolith".

In einer übersichtlichen Darstellung des Gesamtproblems unterschied dann GÜMBEL die Endoolithe, die sich um eine Luftblase gebildet haben sollten (?), von den Ektoolithen, die um einen festen Kern ausgeschieden worden seien. L. v. BUCH beobachtete auf den Kanaren oolithische Sande, aber die meisten Autoren nahmen an, daß die fossilen Oolithe durch „untermeerische" Thermen gebildet worden seien.

Es war für mich daher eine große Überraschung, als ich an der westlichen Sinaiküste den Wüstensand mit kleinen Oolithkörnchen gespickt fand und niedrige Oolithdünen am Ufer aufsteigen sah. Die mikroskopische Untersuchung der Körnchen zeigte, daß die meisten um kleinste Mineralsplitter und nur die größeren um lufterfüllte Körner von Foraminiferen ausgeschieden worden seien. Die Erklärung des Vorgangs ist eindeutig: Wüstenstaub wird ins Meer geweht und aus dem Wasser, das durch die Sonne eingedampft und mit verwesenden organischen Resten angereichert wird, scheiden sich dünne Kalkrinden so lange um die Körnchen aus, als sie noch in Schwebe bleiben können. So bildet sich auf der Rheede von Sues ein über 80 cm mächtiges Lager von rezentem Oolith, dessen Körner fast alle denselben Durchmesser, jedenfalls aber dasselbe Gewicht erreichen.

Eine seltsame Wendung erfuhr dann das Problem durch ROTHPLETZ. Bei seiner Untersuchung des Lake Bonneville in Utah hatte GILBERT einen feinkörnigen Kalksand am Ufer des Salzsees beobachtet und unter

dem Namen „oolitic sand“ beschrieben. Die von mir bei Garfield Beach gesammelten Körnchen, die hier fast den ganzen Ufersand bilden, sehen aber nur bei flüchtiger Betrachtung wie Oolith aus, denn sie sind von ganz unregelmäßig rundlicher Gestalt und wechselnder Größe.

A. ROTHPLETZ erkannte in ihnen eigentümliche Kalkalgen. Aber anstatt nun zu erklären: Der oolithisch aussehende Kalksand des 2000 m hoch und fern vom Meere gelegenen Großen Salzsees ist kein Oolith, sondern besteht aus kalkabscheidenden Algen, zog er den Schluß: „Alle Oolithe sind Algen.“

Eine scheinbare Stütze erhielt diese Verallgemeinerung durch KALKOWSKY, der die organische Entstehung der triadischen Rogensteine sehr wahrscheinlich machte.

Diese Bildungen lassen sich zwar mit den Kalkalgen von Utah sehr gut vergleichen, da auch unser Buntsandstein eine Wüstenbildung ist, in dessen flachen Salzseen die Rogensteine entstanden — aber die echten Oolithe, die wir vom Silur bis zur Gegenwart in allen marinen Kalken wiederfinden, haben mit diesen Binnensee-Organismen nur das eine gemeinsam, daß bei ihrer chemischen Ausscheidung das Wüstenklima beteiligt ist — aber organische Algenkalke sind sie nicht.

Dagegen machen die alpinen „Großoolithe“, wie solche am Rauschberggipfel bei Ruhpolding und anderen Fundorten bekannt sind, ganz den Eindruck von Algenknollen.

Leicht bilden sich in verdampfenden Wüstenseen chemische Niederschläge von kohlensaurem Kalk. Am einstigen Ufer des Lake Bonneville in Utah sieht man gewaltige Krusten von traubigem Thinolith, und auf den an seinem Boden herumliegenden Steinen und Felsblöcken seltsam geformte, pilzartige Sinterbildungen. Ihr schalig-radialfaseriger Bau erinnert an organisch entstandene Kalkkrusten, wie sie in manchen Riffkalken beobachtet werden.

Ob im freien Wasser feinschlammige Kalkteile chemisch niedergeschlagen werden können, scheint mir fraglich. Denn sonst müßte man zwischen den rezenten Oolithkörnchen auf der Rheede von Sues auch feinen Kalkpelit ohne Kerne beobachten.

Dagegen werden in den obersten Sedimentschichten, wo durch die Kapillarität zwischen den Schlammteilchen der Austausch des marinen Grundwassers mit dem darüberstehenden normalen Seewasser verlangsamt wird, leicht feinste Kalkteilchen ausgeschieden, die sich im Sediment so anreichern, daß kalkreiche Letten entstehen. Ist das Wasser flach und unter dem Einfluß eines regenarmen Wüstenklimas, dann muß diese Kalkausscheidung sehr lebhaft werden

Das germanische Muschelkalkbecken, dessen mit Trockenrissen bedeckten Schichtenflächen diese Umstände so deutlich zeigen, lehrt uns die Mannigfaltigkeit der dabei entstehenden Kalkgesteine:

Die deutsche Mitteltrias schaltet sich als eine vielgestaltige Kalkablagerung zwischen die roten Letten des Röt und des Keupers. Die westaustralische Wüste bietet uns ein rezentes Beispiel, unter welchen Umständen karminrote dünngeschichtete Tone in riesigen Lettenpfannen gebildet werden. Der Wind trägt die lateritischen Verwitterungsdecken überall ab, indem er phantastische Felsbildungen, Zeugenberge, Naturbrücken, Trümmerfelder und Höhlen aushebt, rote Staubwolken bewegt und auf dem kleberigen Boden der Salzpfannen aufbereitet. Seltene Regengüsse von unerhörter Niederschlagshöhe schwemmen das Tonmaterial in den Niederungen zusammen, bilden hier riesige Seen, und wenn ihr Wasser verdunstet ist, dehnt sich die unermeßliche rote leblose Ebene.

Eine Senkung am Ende der Rötzeit ließ das Meerwasser von Süden und Osten in die weite rote Tonpfanne von Deutschland hereindringen.

Während der folgenden Zeit entstanden nun fünf verschiedene Fazies, die zwar ihre einstige lithologische Bedeutung zugunsten der stratigraphischen Nomenklatur eingebüßt haben, aber hier im ursprünglichen Wortsinn gebraucht werden sollen: Chemisch entstand der Kalkschlamm des Wellenkalkes, der in der unteren Abteilung vorwiegt, aber als gelegentliche Einschaltung auch im oberen Muschelkalk noch auftritt, und die sandigen Oolithe des Schaumkalkes, die in den dünnen Oolithbänken beginnen, dann zu hohen Kalkdünen anschwellen und zu schräggeschichteten porösen Werksteinen wohl verkittet wurden. Selbst in der oberen Abteilung treten noch oolithische Kalkkörner auf.

Daneben aber kam es auch zur Ausscheidung härterer Kalkkrusten innerhalb des Lettenschlammes, die von den durch heftige Wüstenstürme aufgepeitschten Wogen des flachen Salzsees leicht zerbrochen, in flache Scherben oder rundliche Knollen zerlegt und erneut zu konglomeratischen Kalkbänken zusammengeschwemmt wurden.

Diesen chemischen Niederschlägen sind die organischen Kalkbänke als fremdartige Einschaltungen eingelagert und zeigen uns, wo und wie lange das Wasser mit normalem Salzgehalt eine Ansiedelung von bodenständigen Tieren erlaubte. Die Muschelkalke zeigen auf dem Querbruch das faserige Gewebe der Muschelschalen oder den Silberglanz der Brachiopoden, während die Trochitenkalke mitten zwischen chemisch gebildetem „Wellenkalk" die zerfallenen Rasen kleiner und großer Seelilien verfolgen lassen.

Langsam, wie der Kalkgehalt an der Obergrenze des Röt zunahm, nimmt er beim Übergang zum Keuper wieder ab, und anorganische, von weither verfrachtete Sand- und Tonteilchen beginnen wieder zu herrschen.

In vielen Süßwasserseen und Quelltümpeln wachsen kalkabscheidende Characeen, deren dichtgedrängte Filzrasen kleine Kalklager erzeugen, doch sind solche aus älteren Formationen nicht bekannt, und auch die sogenannten Wiesenkalke (Seekreide), die am Boden mancher Seen

aus dem Zerfall von Muscheln und Schneckenschalen entstehen, haben nur geringe geologische Bedeutung.

Um so wichtiger sind die kalkabscheidenden Organismen des Meeres. Manche derselben, wie die planktonischen Globigerinen, bedecken zwar heute einen gewaltigen Teil des Tiefseebodens, fallen aber, wie wir später zeigen werden, nicht unter die geologischen Kalkbildner, welche in früheren Formationen eine ungemein wichtige Rolle gespielt haben. Wir haben S. 127 gezeigt, welche rezenten und fossilen Formenkreise von Pflanzen und Tieren in ihren Geweben oder an deren schleimbedeckter Oberfläche Kalkskelette ausscheiden.

Wie die Haare und Nägel eines Säugers nicht tote, sondern lebende Gebilde sind, so muß man auch alle diese Schalen und Gerüste, selbst wenn sie außerhalb des Tieres gebildet wurden, doch als Teile ihres lebendigen Leibes betrachteten, die nicht zum anorganischen „Steinreich", sondern zum Reich der Lebendigen gehören. Sie wachsen, leben und sterben, werden von Lebewesen neu gebildet und wieder aufgelöst und müssen nach denselben biologischen und physiologischen Regeln beurteilt werden, wie ein Stück Muskel- oder Drüsengewebe.

Die Untersuchungen von Bütschli haben gezeigt, daß Kalkkarbonat aus wässeriger Lösung oder colloidalen Flüssigkeiten zunächst in Gestalt kleinster, oft an der Grenze der Sichtbarkeit stehender Tröpfchen (Globuliten) ausgeschieden wird, die sich auch im Skelett vieler Tiere als Sphäriten wiederfinden.

Während sich die marinen Oolithe nur als chemische Niederschläge in flachen Buchten am Ufer eines Wüstenlandes bilden, werden am Boden tropischer Meere große Mengen von kohlensaurem Kalk durch marine Bakterien ausgeschieden. Der leider so früh verstorbene G. H. Drew hat zuerst erkannt, daß ausgedehnte Ablagerungen von Kalkschlamm an der Großen Bahama-Bank und in der Umgebung der Florida-Keys durch die Lebenstätigkeit von Bacterium calcis entstehen. Diese Kleinwesen gedeihen bis zu 40 m tief, werden aber noch in 150 m beobachtet. Ihre Entwicklung erfolgt am raschesten bei 29,5° C, wird unter 25° C schon verzögert und hört bei 10° ganz auf.

Das feine Kalkpulver trübt das Meer in der Umgebung von Korallenriffen bis auf 20 km, bedeckt ihre Abhänge von 250—3200 m bei einem Kalkgehalt von 77—90 %. Dann verschwindet der Kalk langsam, beträgt in 5000 m Tiefe nur noch 20 % und wird allmählich ersetzt durch einen braunen oder roten Ton, in dem nur Kieselreste enthalten sind.

Die riesige Verbreitung des sogenannten „Korallenschlamms" in allen tropischen Meeren, den man früher als ausgewaschenen Riffschlamm betrachtete, dürfte auf bakteriellem Wege entstanden sein

Neben den Bakterien spielen zahlreiche höhere Lebewesen eine bedeutsame Rolle bei der Anhäufung kalkiger Gesteine.

Indem solche organisch gebildete Kalkkörperchen zu größeren, geformten Skelettelementen zusammentreten, bilden sich die verschiedenen Kalkgewebe, die wir in Abschnitt 17 schon nach der biologischen Seite besprochen haben und die durch ihre Anhäufung in mächtigen Kalkmassen auch zu geologischen Betrachtungen anregen.

Wie bei den anorganischen Trümmern können wir nach der Formgröße der Bauelemente verschiedene Arten organischer Kalkablagerungen unterscheiden:

Feinster Kalkschlamm (Pelit) entsteht aus dem chemisch oder bakteriell ausgeschiedenen Kalkpulver sowie den mikroskopisch kleinen planktonischen Meeresalgen (Coccolithen und Rhabdolithen), die sich in allen Sedimenten, besonders im breiigen Kalkschlamm der Tiefsee, finden. Zusammen mit dem feinen Zerreibsel anderer Kalkbildner häufen sie sich überall da an, wo anorganische Trümmer nicht abgelagert werden. Wegen ihrer großen Oberfläche werden sie leicht aufgelöst und können im marinen Grundwasser, das in den obersten Sedimentschichten stagniert, ebenso leicht wieder chemisch ausgefüllt werden. Die sahneartige Beschaffenheit solcher Sedimente bedingt eine völlig ebene Oberfläche, und die daraus entstehenden Ablagerungen können ungeschichtet oder gut geschichtet sein.

Gröberer Kalksand entsteht aus den Schalen von Foraminiferen, Ostrakoden und den Jugendformen vieler anderer Kalkbildner, deren gelenkig verbundenen Skeletteile sandig zerfallen. Aber noch viel häufiger werden größere Kalkschalen durch bohrende Spongien, Würmer und Schnecken, räuberische Krebse, Fische und Reptilien zermürbt, zerknackt und endlich in groben Kalksand verwandelt. Wir haben diese Vorgänge an der Hand experimenteller Untersuchungen S. 61 geschildert.

Indem die scharfkantigen Bruchstücke von den Meereswellen beständig bewegt werden, entstehen gerundete Körner, die den Oolithen ähnlich werden können.

Auch mechanische Kräfte beteiligen sich an der Bildung solcher Kalksande. Große rundliche Korallenblöcke werden bei stürmischer See an den Strand gerollt und wirken wie eine gewaltig donnernde Mühle. Dieselben Wellen breiten das feine Kalkpulver und den Kalksand über weite Flächen aus, erzeugen je nach der Korngröße oder der Bewegungsform Rippelmarken und tischebene Schichtenflächen, trennen gröbere und feinere Körner in übereinanderliegende Schichtentafeln und bilden an der Grenze ihres Bildungsraumes auskeilende Wechsellagerung mit anorganischen Trümmern.

Leicht entstehen an der Oberfläche einer aus Grobem und Feinem gemischten Kalkschicht submarine Lesedecken aus gröberen Kalkresten, die später den Fossilreichtum der Schichtoberfläche bedingen.

Korallen, Kalkalgen, Muscheln und andere massive Kalkbildner erzeugen endlich scharfkantige Breschen und abgerundete Kalkgerölle, die sich zu Konglomeraten vereinen.

Solange Kalkteile von gleicher chemischer Beschaffenheit, besonders von gleichem Gehalt an organischem Gewebe, hierbei abgelagert werden, spielt die wechselnde Korngröße bei der späteren Eindichtung keine entscheidende Rolle, und so können ursprünglich wohlgeschichtete organische Kalke doch später eine ungeschichtete Kalkmasse bilden.

Wenn aber auf die wachsenden Schichten einer jener Staubregen herniederfällt, wie sie nicht nur in der Umgebung von großen Wüsten, sondern auch fern vom ariden Klimagebiet in allen Meeren durch weittragende Winde oder Wolken feinster vulkanischer Asche ausgebreitet werden, dann entsteht innerhalb der Kalkablagerung eine Trennungsebene, die bei der späteren Eindichtung erhalten bleibt und entweder als feine Schichtenfuge auf angewitterten Flächen deutlich wird oder doch wenigstens unter dem Hammer des Geologen aufspaltet.

Entstehen solche Kalksande nahe dem Ufer einer pflanzenarmen Wüste oder in flachem Wasser, dann werden sie bei tiefer Ebbe oder langandauerndem Windstau trocken gelegt und zu Kalkdünen aufgehäuft, die durch diagonale Kreuzschichtung ausgezeichnet sind. Solche Dünen bilden an den Küsten Australiens ganze Berge, sind auf vielen Korallenriffen und vulkanischen Inseln warmer Meere weit verbreitet, wandern landeinwärts, begraben Wälder und Süßwasserbecken, Salzseen oder Meeresbuchten unter ihren Massen, verhärten rasch zu klingend hartem Kalkstein und enthalten Einlagerungen von fossilreichen Zwischenschichten, die unter sehr verschiedenartigen Bedingungen als vulkanische, limnische, salinische oder marine Bildungen entstanden. Oft schalten sich sogar die Ablagerungen der nahen Wüste mit ihren Konglomeraten, Dünen, Arkosen oder Salztonen zwischen die dem Meere entstiegenen Dünenkalke.

Zwischen den dichten Beständen von braunen Tangen und grünen Algen, welche die felsige Meeresküste oft bewachsen, bemerkt das geschulte Auge leicht vereinzelte steife Rotalgen, die mit ihrem Farbstoffe befähigt sind, die grünen und blauen Lichtwellen zur Assimilation zu verwenden. Mit zunehmender Wassertiefe vermehrt sich rasch ihre Zahl und in 15—50 m Tiefe überwiegen die rotgefärbten Kalkalgen. Viele derselben scheiden in ihren lebenden Geweben so große Mengen von Kalk aus, daß die steinharten, rosaroten oder violetten warzigen Knollen von 2 cm bis 20 cm Durchmesser ausgedehnte organische Kalklager bilden. Aber gerade weil der Kalk im Zellgewebe ausgeschieden wird und beim Absterben desselben überall „endogene" Kohlensäure entsteht, werden Algenknollen so rasch in dichte Kalke verwandelt, daß man den fertigen Gesteinen nur selten noch die phy-

togene Entstehung ansehen kann. Nur gelegentlich zeigen angewitterte Flächen das feine parenchymatöse Gewebe der ehemaligen Algensubstanz oder vereinzelt in feines Kalkpulver eingebettete Exemplare deren einstige Körperform.

Die meisten sind ästige oder warzenbedeckte Knollen, die so fest aufeinander liegen, daß sie selbst die heftigste Brandung nicht bewegen oder rollen kann. Wie die Zähne eines Zahnrades greifen die Warzen ineinander und bilden ein lockeres Gefüge, zwischen dessen Maschen die Sonnenstrahlen auch in tiefere Algenschichten dringen.

So wachsen die Kalkalgen in nordischen wie in südlichen Breiten und überziehen riesige Flächen des Meeresgrundes. Ich konnte bei Neapel feststellen, daß kilometergroße Gebiete, die vorher mit lockerem, foraminiferenreichem Kalksand überdeckt waren, sich innerhalb 25 Jahren mit dichten Kalkalgendecken besiedelt hatten. Lemoine stellte ein Wachstum von 1 cm in drei Monaten fest, einzelne Knollen vergrößerten sich während der vier Sommermonate sogar um 3 cm.

Neben den in Knollen wachsenden Formen sind rindenförmige Algenkrusten besonders auf den Korallenriffen häufig, überziehen alle absterbenden Korallenäste und verkitten die, wie kleingehacktes Holz übereinanderliegenden, Korallenstöcke zu einem grobmaschigen Gitter, zwischen dessen Lücken der aus zerbrochenen Algen und Conchylienschalen entstehende Kalksand festgehalten und zu hohen Kalkmassen leicht angehäuft wird.

Wir haben früher die Tiergruppen aufgezählt, welche in den Meeren der Gegenwart als Kalkbildner eine Rolle spielen. Aber es ist notwendig, darauf hinzuweisen, daß die Bedeutung der einzelnen Tiergruppen im Laufe der geologischen Vergangenheit sehr gewechselt hat und daß man daher die rezenten Zustände nicht ohne Kritik auf die Vorzeit übertragen darf.

Die Verbreitung der planktonischen Foraminiferen und Pteropoden in den rezenten Tiefseeabsätzen ist eine ganz einzigartige Erscheinung, der man kein fossiles Beispiel an die Seite setzen kann.

Dafür ist die Bildung von mächtigen Brachiopodenkalken und Trochitenkalken in der Gegenwart nicht mehr zu beobachten.

Jedenfalls haben in allen Perioden kalkabscheidende Tiere bald als schwebendes Plankton, schwimmendes Nekton oder kriechendes Benthos den Meeresgrund mit ihren Hartgebilden bedeckt und je nach ihrer örtlichen Verbreitung kleine organische Kalklinsen oder ausgedehnte Kalkschichten gebildet, die oftmals durch diagenetische Umwandlung ihr einstiges Gewebe so gründlich verloren, daß man die Kalkbildner selbst nicht mehr bestimmen kann. Die Mächtigkeit dieser Kalkschichten ist der Ausdruck für die Länge der Zeit, innerhalb deren ununterbrochen dieselben Organismen dort lebten oder daselbst nach dem

Tode angehäuft wurden; die scharfen Grenzen, mit denen solche organische Kalkeinschaltungen meist beginnen und enden, lassen deutlich erkennen, wie rasch die Lebensbedingungen ihrer Umwelt wechselten.

Zu den leicht beweglichen marinen Kalkbildnern gesellen sich die am Boden festgewachsenen Organismen. Während die Überreste jener durch das Spiel der Wellen und die langsameren Bewegungen des Bodenwassers immer wieder in horizontale Schichten ausgebreitet werden, folgen die festsitzenden Kalkbildner anderen Gesetzen und die Oberfläche der durch sie gebildeten Ablagerung wird nicht durch die Bewegung des Wassers, sondern die Richtung ihres Wachtumes bestimmt.

Die ästig emporwachsenden Archäocyatiden, Tabulaten, Spongien, Anthozoen, Bryozoen und vereinzelte Formen aus anderen Gruppen spielen dadurch eine große lithogenetische Rolle, daß sie den oben geschilderten Kalksand zwischen ihren Ästen fangen und seine schichtenförmige Ausbreitung über dem Meeresgrund hindern. Dadurch wachsen sie als Kalkbildner nicht nur mit ihrer eigentlichen Körpermasse, sondern gleichzeitig mit ihren durch andere zerbrochenen Kalkreste ausgefüllten Lücken als Riffe vom Meeresgrunde mit steilen Böschungen empor.

Wenn zahlreiche Korallenstöcke an der 15 Jahre alten, von Meerestieren ganz bewachsenen Landungsbrücke auf Sabang (Nordsumatra) in jedem Jahr ihre Äste durchschnittlich um 1 cm verlängerten, dann kann man verstehen, wie kurze Zeiträume nötig sind, um ein Kalkriff von 100 m Höhe zu bilden.

Bei der Riffbildung kommen außerdem die krustenbildenden Kalkalgen- und Tierkolonien als wichtige Bausteine in Frage, da sie sich an der jeweiligen Oberfläche und Außenseite des wachsenden Riffes ausbreiten und alle lockeren oder sich lockernden Riffelemente verfestigen und zusammenhalten. Die Lithophyllen, Hydroiden, krustenförmige Tabulaten und Anthozoen, Stromarien, Serpulen, Vermetiden, Ostreiden u. a. panzern das wachsende Riff gegen die Angriffe des Meeres immer aufs neue und halten sein Gefüge zusammen.

Diese Bildungsumstände bedingen es, daß innerhalb des wachsenden Riffes leicht unregelmäßige Schichtenfugen auftreten, daß kleine und große Lücken gelegentlich entstehen, die auch späterhin als Höhlen in massiven Kalkgebirgen offen bleiben, daß die Kalkmasse des Riffes als isolierter Kalkstock den, mit heteropischen Sedimenten bedeckten, Meeresgrund überragt, daß von seinen Flanken, wenn nicht spätere Denudation diese Teile zerstört hat, lange Kalkzungen in die benachbarte Fazies hinabtauchen (Übergußschichtung) und sich in ein Haufwerk fossilreicher Blöcke auflösen.

Untersuchungen, die ich früher an den Korallenriffen des Roten Meeres und der Palksstraße bei Ceylon über das Absterben der Riffkorallen

angestellt hatte, konnte ich bei einer mehrtägigen Fahrt durch das australische Wallriff ergänzen. In einer Länge von 1200 km und von 10 bis 200 km Breite zieht sich längs der urwaldbedeckten Ostküste des Kontinents eine flache Meeresstufe, oft unterbrochen von kleinen Inselgruppen, deren Außenkante steil gegen das tiefe Meer absinkt. Zahllose kleine und große, in ihrer Lage von Jahr zu Jahr wechselnde Kolonien von lebenden Riffkorallen sind über diese Fläche zerstreut und schließen sich an der Außenkante zu einem fast einheitlichen Riffband, durch welches nur an sieben Stellen (Passagen) eine gefährliche Fahrrinne auch für größere Dampfer offen ist. Da die Fahrt innerhalb des Wallriffs nur am Tage möglich ist, kreuzte mein Dampfer an der Grafton-Passage die klippenreiche Riffkante und kehrte durch die Cook-Passage wieder zurück, so daß ich zweimal Gelegenheit hatte, auch die Außenzone kennen zu lernen.

Im Gegensatz zu den Korallenriffen an der Sinaiküste, wo neben dem rezenten untermeerischen Riff ein fast ununterbrochenes fossiles Riff 8 m über dem Meeresspiegel entlang zieht — konnte ich nirgends Spuren eines älteren Riffs längs der australischen Küste oder am Ufer der vielen Felseninseln der Fahrtrinne entdecken. Vielmehr wird dieselbe vielfach von laterisierten Gesteinen gebildet, in welche das Ufer eingeschnitten ist. Da der australische Laterit diluvialer Entstehung ist, muß das Wallriff erst postdiluvial gebildet worden sein. Diese flache Küstenstufe ist auch um die ganze Nordküste Australiens durch die Arafura-See bis zum Van-Diemensgolf und der Clarence-Straße in denselben Laterit eingeschnitten, so daß die Coburg-Halbinsel ebenso wie die großen Inseln Melville und Bathurst als Abrasionsreste erscheinen. Hier fehlen alle Riffkorallen, und die Auffassung von Darwin, wonach das Wallriff auf sinkendem Meeresgrund entstanden sei und eine mächtige Decke von Riffkalk trage, kann nicht zu Recht bestehen. Augenscheinlich handelt es sich um eine erst postdiluvial entstandene Korallenansiedelung auf flachem Schelfboden.

Die Verteilung der lebenden Korallen zwischen korallenfreie Flächen erinnert an die Blumenbeete in einer Rasenfläche und wechselt nach dem Urteil der Seeleute beständig. Der diese einzelnen Korallenrasen umgebende Meeresboden ist, wie ich mehrfach an großen, durch den Anker emporgebrachten Massen beobachten konnte, ein zäher feinkörniger Kalkschlamm, ganz durchsetzt von kleinen oder faustgroßen unregelmäßig gestalteten abgeriebenen Korallenstücken. Die Tierarmut dieser Flächen ist so groß, daß R. Semon, der längere Zeit an der Torresstraße dredgte, nur wenige lebende Tiere erbeutete.

So begegnet uns auch hier dieselbe Erscheinung, die ich schon früher am Roten Meer und bei Ceylon gefunden hatte; daß auf einem Korallenriff jeweils nur geringe Flächen mit lebenden, in bunter Formen-

pracht gedeihender Korallen bewachsen sind, während ihr Fundament ebenso wie weite Flächen der Umgebung von abgestorbenen Korallenmassen bedeckt werden, die als ungeschichtete Kalkmassen abgelagert nur wenige wohlerhaltene Reste der Korallen und der zwischen ihnen einst gedeihenden korallophilen Fauna erkennen lassen. Daher ist es kein Wunder, wenn in vielen mächtigen Riffkalken älterer Perioden kaum erkennbare und bestimmbare Riffbildner zu finden sind und nur die allgemeinen Lagerungsverhältnisse ihre Riffnatur beweisen.

Wenn uns die Oberfläche des australischen Wallriffes zeigt, auf welchen ungeheuren Raum die organischen Kalke eines Riffgebiets ausgebreitet werden können, so wissen wir durch die Bohrung auf Funafuti, daß Korallenkalke bis zu einer Mächtigkeit von 135 m wachsen können, also die Grenze, welche durch die Lebenstiefe der Riffkorallen gegeben wird, beträchtlich überschreiten. Daß eine solche Mächtigkeit nur bei Senkung des Untergrundes erreicht werden kann, ist nach dem früher Gesagten unzweifelhaft, und so muß trotz aller Einwendungen, die von zahlreichen Forschern erhoben worden sind, die Senkungstheorie von Dana und Darwin für große Flächen des Korallenmeeres als richtig bezeichnet werden, wenn auch viele Korallenriffe, und sogar das australische Wallriff, nur eine geringe Mächtigkeit haben.

Eine besondere Merkwürdigkeit der auf Funafuti gewonnenen Bohrproben ist das Auftreten von mehreren dolomitischen Zwischenschichten innerhalb der mehr oder weniger fest verkitteten Korallenkalkmasse — wir werden auf diese Frage noch weiter einzugehen haben.

Der erdige Zerfall und die darauf erfolgende Eindichtung des Riffkalkes läßt die meisten am Aufbau des Riffes beteiligten organischen Reste so undeutlich werden, daß wohlgeformte Korallen in ästige „Lithodendren“, fein verzierte Echinodermen in spätige „Crinoidenkalke“, Kalkalgen und Stromarien in zuckerkörnigen amorphen Kalk verwandelt erscheinen, zwischen deren Massen nur vereinzelte Nester wohlerhaltener Fossilien, besonders im Gebiet des Vorriffs, auftreten, wo die Umwandlung des organischen Gewebes in den Kalkzungen weniger tiefgreifend war.

Es ist daher nicht möglich, ein Riff zoologisch zu bestimmen und nach dem Vorwiegen mehr oder weniger gut erhaltener Exemplare von Serpulen, Bryozoen, Korallen oder Spongien die Riffnatur einer Kalkmasse zu entscheiden. Vielmehr können wir dies nur durch genaue Untersuchung der Lagerungsform tun.

Als Riff bezeichnen wir eine kleine oder große, nicht von durchgehenden horizontalen Schichtenfugen gegliederte, dafür aber oft durch senkrechte Klüfte zerlegte Kalkmasse, innerhalb deren kleine Gebiete von horizontaler Schichtung ebenso leicht auftreten können wie diagonal geschichtete Kalkdünen. Sie sendet von ihrem ursprünglichen Bildungsrand mit steiler, nach dem Liegenden sich verflachender Böschung Kalk-

zungen in das gleichzeitig entstandene, faziell verschiedene Nachbargestein hinein. Aber vielleicht die bezeichnendste Lagerungsform eines Riffes sehen wir in dem Auftreten von kleinen oder größeren unregelmäßigen Lücken innerhalb des Massenkalkes, die als Höhlen bekannt sind und ein sehr wechselvolles Geschick haben können.

Ursprünglich als unausgefüllte Lücken im wachsenden Riff entstanden, werden manche derselben durch späteres Hineingleiten von feinem Kalkschlamm zugefüllt, andere bleiben als wassererfüllte Hohlräume bestehen und können bis zur Gegenwart in diesem Zustande verbleiben, sofern sie nicht durch chemische Sinterkrusten verkleinert werden.

Aber die Zerklüftung des hangenden Massenkalkes bedingt es, daß, besonders in tektonisch gestörtem oder durch Erdbeben erschüttertem Riffkalk oft die Decke der Höhle zusammenbricht. Während ein Haufwerk grober Kalkquadern den Höhlenboden erhöht, wird die Höhle selbst in ein höheres Niveau verlagert. So werden jetzt statt der ursprünglichen Wachstumsflächen tektonische Klüfte für die Form des Hohlraums bestimmend und eine in der Tiefe rundliche vielverästelte Rifflücke erscheint beim Emporsteigen als eine von Harnisch-bedeckten Klüften umgebene Spaltenhöhle.

Andere Höhlen werden durch einen eigentümlichen unterirdischen Verwitterungsvorgang erweitert, ihre Wände sind mit einem feinen Kalkmehl bedeckt, das zu Boden fällt, und wenn die Höhle einen Ausgang besitzt, durch Wasser herausgeschwemmt werden kann.

Am meisten untersucht ist die Verkleinerung der Kalkhöhlen durch kalkhaltiges Wasser, das, aus Spalten heraustretend, schön gewundene Sinterfahnen bildet oder in zierlichen Kaskaden zu Boden gleitet, als anfangs hohler, dann verdickter Stalaktit von der Decke herabwächst oder als plumper Stalagmit vom Boden nach oben strebt, bis beide sich zu einer Sintersäule vereinen.

Die Bildung solcher Sintermassen beginnt, sobald ein Korallenriff durch Hebung der Küste oder Oszillation des Meeresspiegels trocken gelegt wird, begünstigt durch dasselbe heiße Tropenklima, das die Voraussetzung des Wachstums der Riffkorallen ist. Warmes Regenwasser löst Teile des Kalkes auf, sickert nach den noch rings geschlossenen Rifflücken und scheidet an ihrer Decke und ihren Wänden Tropfsteine aus. Wenn dann die Erosion solche Höhlen öffnet, überraschen den Beobachter mächtige Stalaktiten, wie sie von zahlreichen Koralleninseln bekannt sind. Ich verdanke Herrn Landeshauptmann Irmer prächtige Beispiele solcher Tropfsteine aus der Südsee.

In einer Höhle im jung gehobenen Korallenkalk der Marschallinseln sammelte Irmer auch runde Körner, ähnlich den Erbsensteinen von Karlsbad, die wohl in stark bewegten Wasserbecken innerhalb der Höhle ausgeschieden worden sind.

Die Höhlenbildung wird durch die Tieferlegung des Grundwasserspiegels infolge der Eintiefung benachbarter Täler in eigentümlicher Weise beeinflußt. Denn solange diese nur flach eingeschnitten sind, stehen auch benachbarte Höhlen voll Wasser, das an der Höhlenwand horizontale Sinterränder und Kristallsäume bildet. Wird das Erosionsniveau der Gegend tiefer gelegt, dann können gelegentlich starke Bäche und Flüsse durch die Hohlräume strömen. In trockenen (interglazialen) Klimaperioden aber sind dieselben Höhlen leer und bieten den Raubtieren einen willkommenen Schutz gegen Kälte und Dürre.

Wenn tektonische Erdbeben das Höhlendach immer wieder zum Niederbrechen veranlassen und endlich die Höhle an der Erdoberfläche erscheint, dann verwandelt sie sich in einen trichterförmigen Erdfall (Doline), der das jetzt verkarstete Gebiet entwässern hilft.

Die Stärke organischer Kalkbildung ist nicht abhängig von dem Kalkgehalt des umgebenden Wassers, sondern von den biologisch günstigen Umständen. Untersuchungen von Forster und Chamisso haben uns zuerst gelehrt, daß die Mehrzahl der sessilen kalkbildenden Tiere nur in den obersten Wasserschichten leben. Die Tiefe, bis zu der riffbildende Organismen (Korallen und korallophile Tiere) hinabsteigen, ist in erster Linie abhängig vom Sonnenlicht. In nördlichen Breiten verschwinden die Riffkorallen schon in 20 m Tiefe, während sie am Äquator, wo die senkrechten Sonnenstrahlen das Wasser viel tiefer erleuchten, bis etwa 80 m beobachtet werden.

Eine wichtige Rolle spielt außerdem die mittlere Jahrestemperatur des Meeres, die niemals unter 28° C (Isokrymen Danas) sinken und nur geringe Schwankungen (stenotherm) unterliegen darf. Wenn wir in den polaren Meeren und ihren unter dem Einfluß der Winterkälte stehenden Flachseegebieten nirgends riffbildende Tierkolonien finden, so liegt das wesentlich daran, daß die geringe Menge von Sonnenlicht die Ernährung der Riffkorallen verhindert und das winterliche Küsteneis und der daraus entstehende Gürtel von Eisschollen die Ausbildung von Saumriffen mechanisch unmöglich macht.

Es ist seit langem bekannt, daß nicht nur die weichhäutigen Seerosen, sondern auch die Steinkorallen und viele andere auf den Riffen lebende Tiere einen gelben oder grünen Farbstoff enthalten, der an geformte gelbe Zellen (Brandt) gebunden oder diffus im Gewebe verteilt ist. Untersuchungen, die ich mit Dr. von Fraber an Riffkorallen im Sundameer anstellte, ergaben, daß verschiedene Riffkorallen beträchtliche Mengen von Chlorophyll enthalten. Da dieselben Formen an ihren offenen Kelchen keine Tentakeln zeigen, die zur Ergreifung von planktonischer Nahrung geeignet wären, da auch das Innere der Kelche frei von Planktonresten war, legt diese Tatsache die Vermutung nahe, daß die Ernährung vieler Riffkorallen durch Chlorophyll-Assi-

milation erfolgt. Diese Auffassung würde erstens erklären, weshalb das Meer in der Umgebung der Korallenriffe gewöhnlich so tiefblau, also planktonarm ist, obwohl gerade hier das Wachstum der Riffe so rasch erfolgt; es würde auch erklären, weshalb die Riffkorallen nur in der lichtstarken Tropenzone gedeihen und in den dunklen Wassertiefen selbst der Tropenmeere verschwinden.

Alle diese Tatsachen machen es aber auch verständlich, daß sich Riffkorallen nur im flachen Wasser des Küstensaumes oder auf dem bis nahe an die Meeresoberfläche reichenden Gipfel ozeanischer Inseln ansiedeln können. Zugleich ergibt sich der Schluß, daß in einem ruhenden Meeresbecken die Mächtigkeit der Riffkalke 80 m nicht übersteigen kann. Nur wenn der Meeresgrund sinkt, kann die Mächtigkeit eines Riffes weiter wachsen bis zu einer Höhe, die dem Ausmaß der Senkung entspricht.

Genau wie die geformten Pflanzenkörper früherer Perioden in den geschlossenen Kohlenlagern in der Regel nicht wieder zu erkennen sind, weil ihre Gewebe in amorphe Kohlenstoffgemische zerfallen, so finden wir in der Erdrinde unvergleichlich mehr ungeformte, dichte Kalke, als vereinzelt erkennbare Kalkfossilien im geschlossenen Verbande. Wie man nicht bezweifeln kann, daß unsere dichten Steinkohlen aus grünen, geformten Pflanzen entstanden sind, so kann es für den Biologen, der die rezenten Vorgänge der Kalkbildung überschaut, ebensowenig einem Zweifel unterliegen, daß auch die dichten Kalke zum größeren Teil aus geformten organischen Kalkskeletten entstanden sind.

Mit Ausnahme der seltenen Sinterkalke in der Umgebung festländischer Quellen und den durch chemischen Niederschlag entstehenden marinen Oolithen entstehen reine Kalkmassen nur im Meere auf organischem Wege. Daher müssen wir auch den Mangel organischer Struktur reiner fossiler Kalke als eine Wirkung nachträglicher Diagenese betrachten.

Wie bei den Kohlen (und wahrscheinlich auch manchen organischen Kieselgesteinen, s. S. 134) unterscheiden wir den erdigen Zerfall der Kalkreste von ihrer nicht notwendig darauffolgenden Eindichtung und den durch ganz besondere Umstände sich daran anschließenden Umwandlungen der organischen Kalksteine.

Dem erdigen Zerfall unterliegen die Riffkalke in besonders hohem Grade, weil ihre ganze Masse nur aus organischem Kalk besteht und die darin sich bildenden Verwesungsgase meist durch horizontale Schichtenfugen weitergeleitet im Wasser des freien Meeres verschwinden. So bildet jedes Riff ein geschlossenes System, innerhalb dessen je nach dem Vorwiegen bestimmter organischer Komponenten die Verwesungsprodukte von Zellulose, Chitin, Chondrin, Keratin oder Tunicin vorwiegen. Das Porenvolumen organischer Kalksande beträgt 35 %, bei feinschlammigem

Kalkpelit kann es bis zu 55 % steigen, in grobem Material bis zu 20 % sinken. Die darin enthaltenen Mengen von Seewasser sind reich an chemisch differenten Lösungen, und wenn die ganze mächtige Riffmasse schon während ihres Wachstums sinkt oder von jüngeren Ablagerungen bedeckt wird, so müssen sehr verwickelte chemische Reaktionen entstehen, die nur auf tropischen Koralleninseln, welche durch spätere Hebung trocken gelegt wurden, untersucht werden können. Die Ufer des Roten Meeres, die an regenarme Wüsten grenzen, scheinen mir für solche Untersuchungen besonders geeignet.

Es gilt zunächst die Verwesungsprodukte der verschiedenen organischen Hartgebilde, dann deren wechselseitige Umwandlung mit den Salzen des Seewassers zu prüfen.

Auch die Schicksale des Porenvolumens bedürfen genauerer Studien; denn man findet in vielen älteren Massenkalken keine Andeutungen dafür, daß zwischen den Lücken der organischen Trümmer ein chemischer Niederschlag von Kalk erfolgt sei (während andere alpine Riffkalke auf angewitterten Flächen solche kleine Kalkdrusen erkennen lassen). Es müßte daher ein Zusammensinken des Riffkalkes um 20—45 % seiner Masse erfolgt sein.

Auch die seltsamen Druckerscheinungen in vielen organischen Kalken (Stylolithen, zackige Nähte und deformierte Schichtenfugen) deuten auf innere Bewegungen während der Diagenese. Ganz unbekannt ist die Temperatur, bei welcher solche Umwandlungen erfolgen; denn die geothermische Tiefentemperatur kann in tropischen Meeren durch die bis 40° steigende Wasserwärme ersetzt werden und die Zirkulation des Seewassers in einer von Wüsten umgebenen Meeresbucht hat andere Wirkungen als die Wasserbewegung an einer regenreichen Küste.

Mit dem Kalk ist so häufig der Dolomit verbunden, daß man auch die Entstehung beider Gesteine immer wieder in Zusammenhang zu bringen versucht hat. L. v. Buch erklärte die Dolomitmassen von Südtirol für Umwandlungsprodukte des Kalkes unter dem Einfluß der bei der Eruption des Augitporphyrs auftretenden Magnesiadämpfe, und seither ist eine reiche Literatur entstanden, welche, auf allen möglichen chemischen Experimenten fußend, die Umwandlung des einen in das andere Gestein verständlich zu machen versucht.

Manche Dolomite sind augenscheinlich nicht umgewandelte Kalke, sondern ursprünglich niedergeschlagen. Nadson hat Bakterien gezüchtet, welche kleine Absätze von Dolomit erzeugen und ich halte es für wahrscheinlich, daß solche Dolomitbakterien in manchen abflußlosen Wasserbecken einstiger Wüsten ausgedehnte Dolomitschichten gebildet haben. Eingelagert zwischen salinischen bunten Letten, oft vergesellschaftet mit Gips und Salz (oder wenigstens mit Pseudomorphosen nach Steinsalz) und einer artenarmen Fauna, oft völlig fossilleer, spielen

diese primären Dolomitbänke in unseren Perm- und Triasschichten eine nicht unbedeutende Rolle.

Andere Dolomite haben ursprünglich aus Kalk bestanden und sind während oder kurz nach dessen Ablagerung dolomitisiert worden. Der aus Sandstein aufgebaute Hamman Musa an der Sinaiküste bei Tor wird nicht nur in etwa 8 m Höhe von einem jungen fossilreichen Riffband umzogen, sondern außerdem von einem Mantel eines braungelben Dolomits bedeckt, in dem alle Fossilien nur im Negativ erhalten sind. Von großen Clypeaster finden wir nur noch fünfstrahlige Steinkerne, von Austern ist nur der Schalenraum mit deutlichem Muskeleindruck erhalten, und Korallenkelche der verschiedensten Arten erscheinen in unregelmäßig gestalteten Abgüssen. Das Innere großer Pholadenlöcher, welche von Korallenrinden ausgekleidet waren, bildet seltsame Steinkerne.

Mitten in diesem so gründlich umgewandelten Gestein fand ich zwei gewaltige, noch deutlich als solche erkennbare Schalen von Tridacna als blätterige Querschnitte aus normalem Dolomit mit 45 % Magnesia. Das Riff ist wohl diluvial oder pliozän. Bruchstücke davon sind im jüngeren Riff eingeschlossen.

Es zeigt sich also hier, daß eine organische Kalkablagerung unter Verlust der organischen Struktur und bloßer Erhaltung von Steinkernen und Abdrücken durch Zuführung von Magnesiakarbonat in Dolomit verwandelt worden ist. Vulkanische Erscheinungen fehlen im ganzen Küstengebiet; es kann sich also nur um eine Zufuhr der Magnesia aus dem Meerwasser handeln. Ich nehme an, daß bei dem Auftauchen des Riffes aus dem Meere unter aridem Klima das Seewasser durch das Kalkgestein hindurchgesaugt wurde und an der Oberfläche abdestillierte. Indem die Chloride und Sulfate durch das Kalkgestein hindurchwanderten, lösten sie den organischen Verband und es kam zur Bildung von Dolomit.

Bei den oben angeführten Bohrungen auf der Koralleninsel Funafuti traf man in der Tiefe mehrere Zonen von dolomitischem Kalk. Diese Wechsellagerung von Kalk und Dolomit scheint mir auf folgendem Wege entstanden: Während der Meeresboden sank und der Meeresspiegel oszillierte, mußten die nacheinander gebildeten Teile des Riffes bei positiver Oszillation unter dem Meeresspiegel versinken, bei negativer Oszillation aber vorübergehend als Koralleninsel aus dem Meeresspiegel hervortreten. Wenn in dieser Phase das hindurchgesaugte Meerwasser die Oberfläche des Riffkalkes in Dolomit verwandelte, dann mußte sich darüber wieder bei erneutem Sinken des Meeresgrundes eine Kalkdecke bilden, und so kam es zu einer Wechsellagerung von Kalk und Dolomit.

Auch Pfaff hat eine ähnliche Wechsellagerung an den fränkischen Jurariffen nachgewiesen. Die früher als „Dolomit“ angesprochenen

Zechsteinriffe des Orlagaues bestehen bekanntlich aus Kalk: aber die feinpulverigen „Aschen“ zwischen den fossilreichen Zungen des Vorriffs aus Dolomit; ihre Bildungsweise ist noch unaufgeklärt.

Welche Umstände manche Riffkalke am Ufer des Roten Meeres in dichten oder spätigen Gips verwandelt haben, bedarf noch weiterer Untersuchungen an Ort und Stelle.

Die Verwandlung mancher Riffkalke in Kalkphosphat unter dem Einfluß eines darüber ausgebreiteten Guanolagers ist leicht verständlich, denn hier sind Guanomassen von Seevögeln ausgelaugt worden und haben den darunter liegenden Kalk verwandelt. Wichtig ist nur, daß die Anhäufung von Vogelexkrementen nur bei Regenarmut möglich ist. So sehen wir immer wieder, welchen Einfluß das aride Wüstenklima für geologische Vorgänge besitzt.

Die molekulare Umlagerung von Kalkstein in kristallinen Marmor unter dem Einfluß hoher Temperatur und heißer Dämpfe, ihre Imprägnation mit Mineralien im Kontakthofe von Tiefengesteinen sowie ihre metasomatische Vererzung in Eisenspat, Kupferkies oder andere Massen kann hier nur erwähnt werden.

Auch die Auswalzung und Verknetung der Kalkmassen im Inneren großer Faltensysteme, wie sie A. Heim zuerst von der „Lochseite“ beschrieb, gehört nur insoweit in den Rahmen unserer Erörterungen, als sie uns verständlich macht, daß die Lagerungsformen der Kalksteine in tektonisch gestörten oder gar vergneisten Gebieten als nachträglich erworben betrachtet werden müssen.

Nur die lithogenetischen Vorgänge der Gegenwart lassen uns die ursprünglichen Eigenschaften im Gewebe, Gefüge und Umriß eines Gesteins ergründen; sie allein ermöglichen uns auch, die darin eingefügten Fossilien richtig morphologisch zu bestimmen, eindeutig phylogenetisch anzuordnen und in allen ihren Wechselbeziehungen biologisch zu verstehen.

Literatur

1. **Oolithe.** Andree, K., Bemerkungen über den Rogenstein des Buntsandsteins und über Oolithe. Sonderabdr. a. d. Monatsb. d. Deutsch. geol. Gesellsch. Bd. 60, Jahrg. 1908, Nr. 6, S. 162. — Cayeux, L., Les Minerais de fer Oolithiques Primaires de France. Revue de Metallurgie vol. VIII, Paris 1911, Nr. 2. — Fischer, H., Experimentelle Studien über die Entstehung der Sedimentgesteine. Sonderabdr. a. d. Monatsb. d. Deutsch. geol. Gesellsch. Bd. 62, Jahrg. 1910, Nr. 3, S. 247. — Gaub, F., Die jurassischen Oolithe der Schwäbischen Alb. Vorläufige Mitteilung. Sep.-Abdr. a. d. N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont. Jahrg. 1908, Bd. II, S. 87—96. — Gaub, Friedrich, Die Jurassischen Oolithe der schwäbischen Alb. Geol. u. Paläont. Abh. (Koken) Bd. XIII, Heft I, S. 1—79, 1910. — Gaub, F., Über oolithbildende Ophthalmidien im Dogger der Schwäbischen Alb. Sep.-Abdr. a. d. Centralbl. f. Min., Geol. u. Paläont. Jahrg. 1908, Nr. 19, S. 584—589. — Gilbert, A. G., Lake Bonneville. U. S. G. S. Monographie I, S. 169. —

Goethe, Ges. Schriften. Naturw. Bd. XIV, S. 260. Cotta 1876. — Johnsen, A., Über dichteste Kugelpackung in Erbsen- und Rogensteinen und die Entstehung des dodekaedrischen Kalkes. Sep.-Abdr. a. d. Centralbl. f. Min., Geol. u. Paläont. Jahrg. 1909, Nr. 10, S. 302—311. — Kalkowski, E., Oolith und Stromatolith im Norddeutschen Buntsandstein. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Gesellsch. S. 68—125, 1908. — Linck, G., Die Bildung der Oolithe und Rogensteine. Neues Jahrbuch f. Mineral. Beil. Bd. XVI, S. 495—513, 1903. — Moisescu, N., Der Seestrand von Tuzla (Dobrudscha) und Oolithbildung. Bull. de la Société des Sciences de Bucarest An. XVI, Nr. 5 et 6, S. 207. — Reis, O. M., Über Stromatolith und Oolith. Sep.-Abdr. a. d. N. Jahrb. f. Min. usw. 1908, Bd. 11. — Rothpletz, A., On the Formation of Oolithe. Botanisches Centralblatt Nr. 35, 1892, S. 265—268, 1892. — Rothpletz, A., Über die Bildung der Oolithe. Bot. Centralbl. Bd. 51, 1892. Oolithische und pisolithische Kalke aus Deutsch-Ostafrika in W. Bornhardt, Zur Oberflächengestaltung und Geologie Deutsch-Ostafrikas 1900, S. 483—485. — Sommermeier, L., Neue Ooide. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. Bd LXVI, Jahrg. 1914. — Walther, Die Korallenriffe der Sinaihalbinsel. Abh. d. K. S. Ges. d. Wissensch. 1890.

2. **Kalkpelite.** Baur, E., Über zwei denitrifizierende Bakterien aus der Ostsee. Wiss. Meeresunters. Bd. VI, Kiel 1901. — Brandt, K., On the production and the conditions of production in the sea. Conseil Internat. Rapp. et Proc. Verb. vol. III, 1905. — Brandt, K., Über die Bedeutung der Stickstoffverbindungen für die Produktion im Meere. Botan. Centralblatt Bd. XVI, 1904. — Drew, G. Harold, Report of preliminary investigations on the marine denitrifying bacteria. Year Book No. 10, Carnegie Institution of Washington 1911. — Drew, G. Harold, The action of some denitrifying bacteria in tropical and temperate seas, and the bacterial precipitation of calcium carbonate in the sea. Jour. Marine Biolog. Assoc. of the U. K. vol. IX, No. 2, 1911. — Drew, G. Harold, Report of investigations on marine bacteria carried on at Andros Island, Bahamas, British West Indies, in April 1912. Year Book No. 11, Carnegie Institution of Washington 1912. — Drew, G. Harold, On the precipitation of Calcium carbonate in the sea by marine bacteria. Carnegie Institution Nr. 182, 1914. — Feitel, R., Beiträge zur Kenntnis denitrifizierender Meeresbakterien. Wiss. Meeresunters. Bd. VII, Kiel 1903. — Fischer, B., Die Bakterien des Meeres. German Plankton Expedition 1894. — Gran, H. H., Studien über Meeresbakterien, I. Bergens Museums Nr. 10, Aarbog 1901. — Keding, M., Weitere Untersuchungen über stickstoffbindende Bakterien. Wiss. Meeresunters. Bd. IX, Kiel 1906. — Kentner, J., Über das Vorkommen und Verbreitung stickstoffbindender Bakterien im Meere. Wiss. Meeresunters. Bd. VIII, Kiel 1905. — Matthews, D. J., Deep-sea Bacteriological Water-bottle. Jour. Marine Biolog. Assoc. of the U. K. vol. IX, No. 4, 1913. — Murray, J., and J. Hjort, The depths of the ocean, London 1912. — Murray, J., and R. Irvine, On coral reefs and other carbonate of lime formations in modern seas. Proc. Royal Soc. of Edinburgh vol. XVII, 1889. — Raben, E., Über quantitative Bestimmung von Stickstoffverbindungen im Meerwasser. Wiss. Meeresunters. Bd. VIII, Kiel 1905. — Thomsen, P., Über das Vorkommen von Nitrobakterien im Meere. Wiss. Meeresunters. Bd. XI, Kiel 1910. — Vaughan, T. Wayland, Carnegie Institution of Washington, Year Book Nr. 11, pp. 153—162, 1912. — Walcott, Ch. D., The Cambrian Rocks of Pennsylvania. Bulletin of the United States Geological Survey No. 134, 1896. — Walther und Schirlitz, Studien zur Geologie des Golfes von Neapel. Z. d. Deutsch. Geol. Ges. 1886, S. 334. — Weber, M., Über Bildung von Flaserkalken. Sonderabdr. a. d. Geognost. Jahresheften 1911, XXIV. Jahrg., S. 215.

3. **Süßwasserkalke.** Gilbert, G. K., Lake Bonneville. Monogr. I U. St. G. S. 1890. — Krause, P. G., Über drei ostpreußische Seekalkablagerungen. Sonderabdr. a. d. Jahrb. d. K. Pr. Geol. Landesanst. Bd. XXXV, Teil I, H. 3, 1914, S. 429. — Passarge, S., Die Kalkschlammablagerungen in den Seen von Lychen, Uckermark. Sonder-

abdr. a. d. Jahrb. d. K. Pr. Geol. Landesanst. u. Bergakad. Bd. XXII, H. 1, 1901, S. 79. — Passarge, S., Über durch Pflanzen veranlaßte Kalkablagerungen in Havelseen. Naturwissensch. Wochenschrift XVI, Nr. 10, 1901. — Russell, U. St. G. Survey. Ann. Rep. 1881, S. 189. — Wiesner, C. A., Beitrag zur Kenntnis der Seekreiden und des kalkigen Teichschlamms der jetzigen und früheren geologischen Perioden. 1892.

4. **Kalkalgen.** Benecke, E. W., Diplopora und einige andere Versteinerungen im elsaß-lothringischen Muschelkalk. Abdr. a. d. Mitteil. d. geol. Landesanst. von Elsaß-Lothringen Bd. IV, Heft 4, 1896, S. 277. — Garwood, E. J., On the Important Part played by Calcareous Algae at certain Geological Horizons, with special Reference to the Paläozoic Rocks. Extracted from the Geol. Magazine N. S., Decade V, vol. X pp. 440—446, 490—498, 545—553. 1913. — Lemoine, P., Quelques experiences sur la croissance des algues marines à Resooff. Bull. de l'Inst. oceanographique, Monaco No. 277, 1913. — Lohmann, H., Die Coccolithophoridae etc. Archiv f. Protistenk. Bd. I, 1902. — Meyer, H. L. F., Kalkalgen im Wellenkalk der Rhön. Sonderabdr. a. d. Centralbl. f. Min. usw. Jahrg. 1913, Nr. 13, S. 402. — Rothpletz, A., Fossile Kalkalgen aus den Familien der Codiaceen und Corallineen. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Gesellsch. Bd. 43, 1891. — Rothpletz, A., Über Algen und Hydrozoen im Silur von Gotland und Oesel. Kungl. Svenska Vetenskaps akademiens Handlingar Bd. 43, Nr. 5, 1908. — Rothpletz, A., Über Algen und Hydrozoen im Silur von Gotland und Oesel. Kungl. Svenska Vet. Akad. Handl. Bd. XLIII, Nr. 5, 25, S. 1908. — Rothpletz, A., Über Sphaerocodium Zimmermanni n. sp., eine Kalkalge aus dem Oberdevon Schlesiens. Sonderabdr. a. d. Jahrb. d. K. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1911, Bd. XXXII, Teil II, Heft 1, S. 112. — Rothpletz, A., Über die Kalkalgen, Spongiostromen und einige andere Fossilien aus dem Obersilur Gotlands. Sveriges Geol. Undersökn. Afh. o. upps. Ser. Ca Nr. 10, 1913. — Ruedemann, R., Some Marine Algae from the Trenton Limestone of New York. New York State Museum Bulletin 133, Fifth Report of the Director S. 194, 1909. — Ruedemann, R., Some Marine Algae from the Trenton Limestone of New York. New York State Mus. Bull. 133, S. 194—216, 1909. — Stolley, E., Neue Siphoneen aus baltischem Silur. Sonderabdr. a. d. Archiv f. Anthrop. u. Geol. Schleswig-Holsteins Bd. III, H. 1, 1898. — Walther, Johannes, Die gesteinbildenden Kalkalgen des Golfes von Neapel und die Entstehung strukturloser Kalke. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Gesellsch. Bd. XXXVII, Heft 2, S. 329—357, 1885. — Walther, J., Die Sedimente der Taubenbank im Golfe von Neapel. Abh. d. K. Akad. d. Wissensch. Berlin 1910. — Waters, A. W., Notes on Fossil Lithothamnia (So-Called Nulliporae). From the Fifth Volume of the Third Series of Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester Sessin 1873/74, S. 244. — Wethered, Edward, On the Occurrence of the Genus Girvanella in Oolithic Rocks, and Remarks on Oolithic Structure. Quart. Journ. of the Geol. Soc. Bd. XLVI, 1890, S. 270—283.

5. **Dolomit.** Cayeux, L., Genese des Gisements de Phosphates de Chaux sédimentaires 1905. — Pfaff, F. W., Erlangen, Beiträge zur Erklärung über die Entstehung des Magnesits und Dolomits. Jahrb. f. Mineralogie Beil. Bd. IX, 1903 und 1904. — Philippi, E., Berlin, Über einen Dolomitisierungsvorgang an südalpinem Conchoden-Dolomit. N. Jahrb. f. Mineralogie Jahrg. 1899, Bd. I. — Philippi, E., Über Dolomitbildung und chemische Abscheidung von Kalk in heutigen Meeren. Jahrb. f. Mineralogie Festband 1907, S. 397—445. — Spangenberg, Kurt, Die künstliche Darstellung des Dolomits. Diss. Jena 1913. — Steidtmann, The Evolution of Limestone and Dolomite. Reprinted from the Journal of Geology vol. XIX, nos. 4 and 5, 1911, S. 323.

6. **Riffe.** Agassiz, A., A Reconnaissance of the Bahamas and of the Elevated Reefs of Cuba etc. Bull. of the Museum of comparative Zool. Bd. XXVI, S. 1—203, 1893. — Agassiz, A., The Coral Reefs of the Tropical Pacific. Memoirs Mus. of Comp. Zool. Harv. Coll. Bd. XXVIII, 1903. — Andrussow, N., Die fossilen Bryozoenriffe

der Halbinseln Kertsch und Taman. Lief. 1—3, Kiew 1910—12. — Daly, R. A., Pleistocene glaciation and the coral reef problem. Am. Journ. XXX, 1910, S. 297. — Dana, J. D., Corals and Coral Islands 3. Edit., 1890. — Darwin, Charles, The Structur and Distribution of Coral Reefs 3. Ed., 1889. — Dupont, E., Sur les Origines du Calcaire Carbonifère de la Belgique, sér. 3, T. V., S. 211—229, 1883. — Deecke, W., Paläontologische Betrachtungen. VIII. N. Jahrb. f. Mineralogie, Geologie und Paläontologie Jahrg. 1915, Bd. II, S. 1—18. — Dietrich, F., Untersuchungen über die Böschungsverhältnisse der Sockel ozeanischer Inseln. Ein Beitrag zur Morphologie des Meeresbodens. Greifswald 1892. — Finckh, Alfred E., Biology of the Reef-forming Organismns at Funafuti Atoll. Funafuti Report Sect. VI, S. 125—150, 1904. — Garwood, E. J., Rock-building Organismns from the Lower Carboniferous Beds of Westmorland. Extracted from the Geol. Magazine, N. S., Decade VI, vol. I, pp. 265—271, 1914. — Grabau, A. W., Palaeozoic Coral Reefs. Bull. of the Geol. Soc. of Amer Bd. XIV, S. 337—352, 1903. — Guppy, H. B., Observations on the recent Calcareous Formations of the Solomon Group made during 1882—84. Traus. of the Roy. Soc. of 1887, Edb. Bd. XXXII, T. III, S. 545—581. — Gürich, G., Les Spongiostromides du Viseen de la Province de Namur. Extrait des Memoires du Musee Royal d'Histoire Naturelle de Belgique T. III, 1906. — Hinde, G. J., Report on the Materials from the Borings at the Funafuti Atoll 1904, S. 186. Published by the Royal Society 1904. — Howe, M. A., The building of coral reefs. Science 1912, vol. XXXV, S. 337. — Langenbeck, R., Die neueren Forschungen über Korallenriffe. Hettner Geographische Zeitschrift III, 1897. — Mojsisovics, E. von, Die Dolomitriffe von Südtirol und Venetien, Wien 1879. — Molengraaff, G. A. F., The Coral Reef Problem and Isostasy. Proceedings vol. XIX, No. 4, S. 610, 1916. — Munthe, H., The Sequence of Strata in Southern Gotland. Guide to the Excurs. of the Intern. Geol. Cong. II. Sess., Stockholm 1910. — Murray, Sir John, On the Structure and origin of coral reefs and islands. Proc of the Royal Soc. of. Edinb. Bd. X, S. 505—518, 1879—80. — Murray, J. M., Structure, Origin and Distribution of Coral Reefs and Islands 1888. — Murray, John, and Irving, Robert, On Coral Reefs and other Carbonate of Lime Formations in Modern Seas. Proc. of the Roy. Soc. of Edinb. vol. XVII, S. 79, 1891. — Richthofen, F. von, Geognostische Beschreibung der Umgebung von Predazzo, St. Cassian und der Seisser Alpe in Süd-Tirol, Gotha 1860. — Royal Society of London, The Atoll of Funafuti. Borings into a Coral Reef and the Results. Report of Coral Reef Commit., London 1904. — Saville-Kent, W., The Great Barrier Reef of Australia. London, W. H. Allen and Co., 1893. — Seurat, L. G., Les îles coralliennes de la Polynesie, Structure, Mode de formation, Faune et Flore. Bull. du Musée Océanographique de Monaco No. 65, 1906. — Sluiter, C. Ph., Einiges über die Entstehung der Korallenriffe in der Javasee und Branndweinsbai und über neue Korallenbildung bei Krakatau. Sep.-Abdr. a. Naturk. Tijdschrift voor Nederlandsch Indie. Bd. XLIX, 1889, S. 360. — Sollas, W. J., Funafuti: the Study of a Coral Atoll. Natural Science 1899, S. 17. — Southwell, T., Currents on the Ceylon Pearl Banks, Superficial Deep. 1912, Ceylon Marine Biological Reports Part. IV, S. 231. — Tiddeman, R. H., On the Concurrent Faulting and Deposit in Carboniferous times in Craven, Yorkshire, with a note on Carboniferous Reefs. Rep. British Ass. (Newcastle on Tyne) S. 600—603, 1889. — Vaughan, T. W., Sketch of the Geologic History of the Florida Coral Reef Tract and Comparisons with Other Coral Reef Areas. Reprinted from the Journal of the Washington Academy of Sciences vol. IV, No. 2, S. 26, 1914. — Voeltzkow, A., Über seine in den Jahren 1903—1905 ausgeführten Forschungsreisen im westlichen Indischen Ozean. Heckmann Wentzel-Stiftung f. 1905, 1906, IV. — Voeltzkow, A., Forschung über Korallenriffe. Geograph. Anzeiger Jahrg. 1907, Heft 1 u. 2. — Voeltzkow, A., Untersuchung der Bildung und des Aufbaues der Riffe und Inseln des westlichen Indischen

Ozeans. Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdk. z. Berlin Jahrg. 1904, Nr. 4, S. 274. — Walther, Johannes, Die Korallenriffe der Sinaihalbinsel. Abh. d. Kgl. sächs. Ges. d. Wiss., Leipzig, Bd. XIV, S. 437—505, 1888. — Walther, J., Die Adamsbrücke und die Korallenriffe der Palksstraße. Peterm. Erg.-Heft Nr. 102, Gotha 1890. — Werth, E., Lebende und jungfossile Korallenriffe in Ost-Afrika. Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdk. z. Berlin Bd. XXXVI, 1901, Nr. 3, S. 115. — Wiman, C., Über silurische Korallenriffe in Gotland. Reprinted from Bull. of the Geol. Inst. of Upsala No. 6, Vol. III, Part. 2, 1897, S. 311. — Yakovlew, N., Les Récifs Coralliens existent-ils dans le Paléozoique? Extrait du tome XXX des Bull. du Comité Géologique No. 201, S. 847, 1911.

II. Teil

Die Vorgänge des Lebens in der Vorzeit

Inhalt

22. Das Leben

Die Fossilien sind geformte Sekrete des organischen Stoffwechsels. Sie entstanden im Verband lebender Gewebe, wurden durch postmortale Vorgänge von diesen getrennt und dauernd in Lockermassen eingeschlossen, die gleichzeitig an der Erdoberfläche gebildet wurden. Das fossilführende Gestein entspricht also dem Standort des Fossils oder wenigstens dem Leichenfeld, auf dem es eingebettet wurde. Die Flächenverbreitung der einzelnen Art kennzeichnet ihren Lebensbezirk und der Fundraum in der fortlaufenden Gesteinsfolge entspricht ihrer Lebensdauer.

So ist jeder fossile Einzelfund ein biologisch-historisches Dokument der Vorzeit, und die Summe der fossilen Floren und Faunen bildet die historische Erscheinungsform des organischen Lebens.

Obwohl die fast unendliche Dauer des Lebens auf der Erde durch die Verbreitung von Fossilien in einem fortlaufenden Schichtenstoß von über 25 km Mächtigkeit bewiesen wird, so sprechen doch viele Tatsachen dafür, daß das Leben auf der Erde einen Anfang gehabt hat und ein Ende finden wird, während anorganische Vorgänge schon vorher stattfanden und auch in einer fernen Zukunft wieder allein herrschen werden.

Allerdings können wir geologische Beweise für eine leblose Vorzeit unserer Planeten nicht erbringen. Eine primitive Erstarrungskruste kennen wir nicht. Sie müßte von oben nach unten an spezifischem Gewicht zunehmen, im Hangenden aus glasigen hellen, im Liegenden aus dunklen Magmagesteinen bestehen, die auf riesige Erstreckung denselben Gesteinscharakter zeigen würden. Statt dessen begegnen uns im Kern abgetragener Faltensysteme die linsenartig gelagerten, in ihrem lithologischen Gewebe rasch wechselnden, völlig entglasten Gneise und Schiefergesteine, und zwischen ihnen die Spuren ehemaliger Trümmergesteine, die leicht erkennen lassen, daß es sich um chemisch, mineralogisch und tektonisch nachträglich veränderte Massen (Paragneise) handelt.

Es läßt sich durch eine allgemein vergleichend-astrophysische Betrachtung der Gestirne zeigen, daß man alle Himmelskörper in eine Reihe verschieden heißer Sterne ordnen kann, und Scheiner hat erkannt, daß die leuchtenden Sterne mit einem kontinuierlichen Spektrum in drei Klassen zerfallen, deren Oberflächentemperatur von 15000° auf 5000° und endlich bis unter 3000° sinkt. Dann verschwinden sie aus dem Beobachtungsbereich der Astronomen und vermehren die ungeheure

Zahl der erkalteten dunklen Sterne. Von den 4334 mit bloßem Auge sichtbaren Fixsternen gehören 75 % zur I. Klasse mit weißem Licht, 23 % zu IIa mit gelbem Licht und nur 1 % zu IIIa den rötlichen Sternen. So wird die Zahl der sichtbaren Sterne immer geringer, je weiter ihre Abkühlung und Verdichtung vorschreitet, und wir erkennen, daß ein Weltkörper während seiner astralen Entwicklung dreimal so lange auf dem weißglühenden Stadium beharrt, als die folgende gelbe Phase beträgt, und sich endlich in einer wesentlich kürzeren Zeit vom rotglühenden Stern in einen dunklen Himmelskörper verwandelt.

Alles Leben wird über 50° durch Gerinnen des Eiweiß zerstört, nur wenige Bakteriensporen können eine Temperatur bis 100° ertragen. Daraus ergibt sich, daß unsere Erde lange Zeiten hindurch nicht von organischem Leben besiedelt gewesen sein konnte.

Wenn somit der Anfang des Lebens auf der Erde durch tellurische Zustände begrenzt war, so ist anderseits das Ende des irdischen Lebens unabhängig von unserem Planeten. Im Laufe der geologischen Perioden sind nachweislich so ausgedehnte Flächen der Erde von lebenzerstörenden Vorgängen beherrscht worden: Eiszeiten und Wüsten, vulkanische Aschenregen und glühende Lavadecken, Erdbeben und Gebirgsspaltungen haben immer wieder kontinentale und marine Gebiete verheert und fossilreiche Schichten mit mächtigen fossilleeren Gesteinen überdeckt. Aber das Leben hat es immer verstanden, trotz aller örtlichen Vernichtungen, neue Siedelungswege zu beschreiten, neue Lebensräume zu erobern, und die monophyletische Folge des irdischen Lebens ist durch alle geologischen Katastrophen in den ungeheuren geologischen Zeiträumen nie unterbrochen worden.

Auch eine weiter fortschreitende Abkühlung der Erdrinde kann die Zukunft des Lebens auf derselben nicht schädigen oder auch nur beeinflussen. Denn schon in der algonkischen Urzeit gab es riesige von Schnee- und Eisdecken begrabene Flächen, schon damals war also die Erdrinde dick genug, um jeden thermischen Einfluß des Erdkernes auf die Erdoberfläche auszuschalten. Schon damals wurde das Klima nur von der Sonne bestimmt, und so kann auch in ferner Zukunft nur die thermische Entwicklung der Sonne von wesentlichem Einfluß auf die Geschichte des irdischen Lebens werden. Sollte sich die Sonne so abkühlen oder ihre Atmosphäre so verdichten, daß die Menge ihrer Wärme- und Lichtstrahlen wesentlich vermindert wird, dann muß dadurch auch das irdische Leben beeinflußt und seine Dauer in Frage gestellt werden. Der kritische Zeitpunkt dürfte eintreten, sobald die Hälfte der Erdoberfläche längere Zeit unter 0° abgekühlt wird; denn dann rinnen die Niederschläge nicht mehr als flüssiges Element von Berg zu Tal, sondern gleiten nur als lebensfeindliche Eisdecken weiter; die stehenden Gewässer frieren; die Lithose in der Oberschicht des Bodens umgibt die Wurzeln der

Pflanzen mit einem unbeweglichen Eispanzer und die bewegliche Wassermenge, ohne welche die lebendige Substanz weder wachsen noch sich fortpflanzen kann, wird in den festen Zustand übergeführt. So ist also das Leben eine vorübergehende Phase in der allgemeinen Erdgeschichte, vorwiegend bedingt durch die Sonnenstrahlen. und nur sekundär beeinflußt durch tellurische Vorgänge.

In unserer heutigen Umwelt steht die anorganisch-leblose der organisch-belebten Welt unvermittelt gegenüber. Alle Versuche, die man unternommen hat, um die tiefe Kluft zwischen beiden zu überbrücken, scheiterten daran, daß es zwar möglich ist, die Bewegungsformen des Lebens und die Wirkungen des organischen Stoffwechsels auch im Laboratorium nachzuahmen, daß aber diese Teilprodukte des Lebens sich weder fortpflanzen noch vererben.

Wenn wir die beiden Gruppen vom geologischen Standpunkt ansehen und in ihren Ursachen und Wirkungen verfolgen, dann erscheint uns das Reich des Anorganischen als das ältere Gebiet.

Von den mehr als 80 Elementen beteiligt sich Si zur Hälfte an der Zusammensetzung der Erdrinde, ein weiteres Viertel bildet O, so daß also SiO_2 alle anderen Bestandteile der Erde bei weitem überwiegt. Kein Wunder, daß die Kieselsäure und die Silikate auch die wichtigste Grundlage aller anorganischen Vorgänge bilden. Da dieselben nur bei hoher Temperatur beweglich sind, konnten sie in der heißen astralen Vorzeit unserer Erde die vornehmste Rolle spielen.

Seit der Bildung einer festen Erdrinde wurden sie in die magmatische Tiefe hinabgedrängt und werden uns heute nur noch in den vulkanischen und postvulkanischen Vorgängen sichtbar.

Alle Bewegungen der leblosen Natur werden durch die Schwerkraft der Erde bestimmt und einem ruhenden Gleichgewichtszustand genähert; allein andere Kraftquellen arbeiten ihr entgegen:

Der Auftrieb des glühenden Magmas und der in ihm enthaltenen hochgespannten eruptosen Dämpfe drängt die heißen Silikate beständig nach oben und bewegt sie bei vulkanischen Eruptionen der Schwerkraft entgegen bis in die höchsten Schichten der Atmosphäre.

Das Wärmegefälle der Erde hebt Faltengebirge empor, verschiebt Horste und Gräben und überwindet dabei spielend die Schwere.

Endlich bewegen sich unter dem Einfluß der Sonnenwärme alle Gase und Flüssigkeiten an der Erdoberfläche, zerlegen und sondern die magmatischen Urgesteine ebenso wie die späteren Bildungen und erzeugen jene Mannigfaltigkeit von neuen Ablagerungen, die wir in der Schichtenfolge der Erdrinde übereinander gelagert als Dokumente langer Zeiträume unterscheiden können.

Unabhängig von der Schwere ist auch die lebendige Substanz. Der Tanggürtel, wie das Saumriff brechen die Gewalt der stärksten

Brandung, der Vogel hebt sich in die Atmosphäre und zieht gegen den Wind wie der Fisch gegen das Gefälle des Flusses, und auf dem stürmischen Gipfel der Berge hält sich noch die zarte Flechtenrinde.

Während das Silizium der Träger und wichtigste Bestandteil der anorganischen Vorgänge ist, knüpfen sich die Lebensvorgänge an den Kohlenstoff an. Außerdem enthält die lebendige Substanz: N, S, H, O, P, Cl, K, Na, Mg, Ca, Fe und geringere Mengen von Si, Fl, Br, J, Al, Mn.

Diese 18 Elemente sind zu einem überaus großen und verwickelten Molekül verbunden, das ebenso leicht verfallen, wie sich umbilden kann und die Grundlage aller Lebensvorgänge bildet. Da die lebendige Substanz bei Temperaturen über 50° leicht zerstört wird, konnte sie sich erst bilden, nachdem die Siliziumphase der Erdgeschichte abgeschlossen und deren Oberfläche längst erkaltet war. Aber da die Erde nach Bildung ihrer Erstarrungskruste sofort unter den abkühlenden Einfluß der niederen Temperaturen des Weltenraumes geriet, konnte das für die Entstehung und Erhaltung des Lebens auf der Erde notwendige Klima nur durch die Wärmestrahlen der Sonne erzeugt werden.

Auch das Sonnenlicht gehört zu den notwendigen Voraussetzungen des Lebens, das weder im Schatten einer düsteren Uratmosphäre noch am Boden einer dunklen Tiefsee entstehen konnte.

Das Leben ist endlich an das Vorhandensein von flüssigem Wasser geknüpft. Denn mehr als die Hälfte seiner Masse besteht aus Wasser und alle keimenden oder wachsenden Gewebe sind besonders wasserreich.

Neben der eigenartigen molekularen Zusammensetzung zeigt die Lebewelt aber noch eine Reihe von anderen Eigenschaften, die sie grundsätzlich von der anorganischen Natur unterscheiden läßt. Durch den Stoffwechsel werden beständig neue Atome in den Verband der organischen Materie eingeführt und wieder ausgeschieden. Während ein Kristall bei dauernder Zufuhr der gleichen Atome unbegrenzt weiterwächst, leitet eine wunderbare Selbstregulierung den organischen Stoffwechsel und jede Überernährung der Lebewesen führt zu krankhafter Entartung.

Eigentümlich ist auch die Reizbarkeit der Lebewesen, deren Bewegungen oft durch ganz unscheinbare äußere Einwirkungen überraschend lebhaft gesteigert werden können; sie bedingt den Energiewechsel und den Ortswechsel der Organismen.

Eine besondere Eigenschaft der Organismen ist es, daß sie sich in gesetzmäßiger Weise ungeschlechtlich teilen oder durch geschlechtliche Fortpflanzung vermehren, wobei kleine oder größere Teile des elterlichen Organismus zum Anfang einer neuen Generation werden. So kann das Individuum sterben und doch alle seine wesentlichen Eigenschaften auf seine Nachkommen übertragen. Hierbei gewinnt die Sonderung des

Plasmas in Zellstoff und Kernsubstanz eine ganz eigenartige Bedeutung, denn nur wenn ein Zellkern oder Teile von Nuklein vorhanden sind, vermögen sich lebende Zellen zu teilen und zu vermehren.

Während die vorher geschilderten Eigenschaften der lebenden Substanz nur an rezenten Wesen untersucht und erkannt werden können, überschauen wir Geologen ein fossiles Tatsachenmaterial, das, nach Zeit und Raum wohlgeordnet, uns nicht nur den Wechsel aufeinanderfolgender Generationen derselben Art verfolgen, sondern auch die zeitliche Aufeinanderfolge von Tausenden verschiedener Arten und Hunderten von Gattungen durch lange Zeiträume hindurch erkennen läßt. Damit öffnet sich aber der Blick für eine letzte Eigenschaft der lebenden Materie, nämlich ihre lange ununterbrochene Dauer, trotz des beständigen Wechsels in der Form der aufeinanderfolgenden Einzelwesen.

Ein präkambrischer Quarzkristall kann unverändert durch alle Perioden hindurch existieren. Aber wenn er einmal durch Verwitterung oder tektonisch zerbrochen wurde, dann gibt es keine natürliche Kraft, die ihn in völlig gleicher Form wiederherstellen könnte. Dagegen wandelt sich eine silurische Rhynchonella durch zahllose Individuen und Generationen in immer neue Arten, paßt sich den jeweils herrschenden Umständen immer durch neue Gestaltung an, behält aber ihre wesentlichen Gattungscharaktere, bildet stets dieselben kurzen Crura, scheidet stets dieselbe Faserschale ab und lebt heute, wie in der uralten Silurzeit, von feinen Planktonwesen des Meerwassers.

So wird das lebende Molekül in immer neue Gestalten gesetzmäßig verändert, ist immer vergänglich, entsteht doch immer neu und greift dabei überall umgestaltend in die anorganischen Vorgänge ein. Wir brauchen in diesem Zusammenhang keineswegs nur an die Bedeutung des Menschen zu denken, die ja nur für die letzte Periode der Erdgeschichte maßgebend ist. Denn auch in den anorganischen Veränderungen der früheren Formationen sehen wir überall den wachsenden Einfluß der belebten Natur.

Wenn wir die Zusammensetzung geologisch älterer Faunen und ihre Verteilung innerhalb der anorganisch gebildeten Gesteine mit den späteren Lebenseinheiten und ihrer heutigen Verbreitung vergleichen, so sehen wir, wie das Leben beständig an Raum, Zahl und Bedeutung zunimmt. Anfangs nur in einzelnen Wasserbecken gedeihend, zwischen denen leblose Flächen sich dehnten, erobert es schrittweise alle Räume des aus ihnen zusammenfließenden Weltmeeres, dringt auf die Flächen des trockenen Landes, erobert sogar die Luft, und selbst die heiße Wüste und das kalte Polargebiet setzen ihm keine dauernde Grenzen.

Die vornehmste Eigenschaft des lebenden Eiweißmoleküls, sich beständig chemisch zu verändern, Stoffe aufzunehmen, andere abzuscheiden und doch unter dem Gesetz der Selbstregulierung seine individuelle

Eigenart zu wahren, erscheint uns in einem ganz besonderen Licht, wenn wir die fossile Lebewelt durch die Äonen geologischer Zeiträume verfolgen.

Die kambrischen Brachiopoden oder die silurischen Echinodermen, Korallen und Mollusken lassen schon zwei systematisch und morphologisch grundlegende Eigenschaften erkennen, die seit jener uralten Zeit der bleibende Erbteil aller Lebewesen geblieben sind: einerseits die durch innere biologische Selbstregulierung bedingte Durchschnittsgröße der erwachsenen Individuen, andererseits die deutlichen Artgrenzen der neben- und nacheinander lebenden Formen. Bei dem großen und ununterbrochenen Wechsel der äußeren Lebensbedingungen, bei dem beständigen Wandel der systematischen Formenkreise wäre es nicht nur möglich, sondern sogar wahrscheinlich, daß die Selbstregulierung in Körpergröße und Artcharakter nicht immer mit gleicher Schärfe zu erkennen wäre. Aber wie von ehernen Gesetzen beherrscht, lassen sich beide Eigenschaften von den reichen Faunen jener uralten Zeit bis zur rezenten Lebewelt nachweisen.

Zugleich sehen wir in dem Vorwiegen solcher bleibender Eigenschaften die ungeheure Macht der Vererbung, die selbst das Unzweckmäßige erhält, wenn es einmal in Harmonie mit inneren oder äußeren Lebensbedingungen entstanden war.

Aber das Einzelwesen führt uns nicht nur als Leitfossil die kurzlebigen Schritte des Lebens oder als Dauerfossil dessen ununterbrochenen Zusammenhang vor Augen, sondern überall begegnen wir den Überresten von Lebensgenossenschaften, die zusammen die gleiche Fazies belebt haben oder im Tode vereint wurden und dabei große geologische Wirkungen hervorbrachten. Das Bestreben der Lebewelt, jeden verfügbaren Raum auszunutzen; ihre Fähigkeit, sich durch Teilung oder Fortpflanzung zu vermehren; ihre Anpassungsgabe, mit Lebegenossen anderer Art zusammen und durcheinander zu leben; als Moor-, Rasen-, Busch-, Steppen- oder Waldflora weite Gebiete zu bewachsen und am Meeresboden durch Algenrasen, Muschelbänke oder Riffe große Flächen zu bedecken, ist allbekannt. Sie erweitert die Grenzen des Standortes einzelner Formen, nützt jede freie Fläche aus und fügt die Einzelwesen zu geschlossenen Lebensgebieten zusammen, die wir in ihrer Gesamtheit als Biosphäre bezeichnen.

Zwischen die Atmosphäre, die Hydrosphäre und die Lithosphäre schaltet sich diese bewegliche und doch so enggefügte, vergängliche und doch so lebenszähe, hinfällige und doch sich immer neu bildende Decke der lebendigen Materie ein, vermittelt den Austausch der Gase der Luft mit den Lösungen des Wassers und den festen oder löslichen Bestandteilen der Erdrinde, nimmt sogar Teile des aufdringenden Magmas in sich auf, löst und verwittert, bindet und bewegt, zerlegt und speichert

indem sie dadurch mit zunehmender Wirkung alle anorganischen Vorgänge beeinflußt.

Die Bewegungen der Biosphäre werden vornehmlich von der Reizbarkeit der lebendigen Substanz bestimmt, die im Gegensatz zu den Vorgängen der anorganischen Natur ganz besondere Wechselbeziehungen beobachten läßt. Genau wie das einzelne Lebewesen von einem zarten Lichtstrahl, einer schwachen Wärmewelle oder einer kleinen Nahrungsquelle unwiderstehlich angezogen oder entfernt wird, so wandern ganz Floren und Faunen unter dem Einfluß scheinbar geringer bionomischer Zustände und oft beobachten wir weittragende Änderungen der fossilen Biosphäre, denen keine äquivalente anorganische Ursache zugrunde zu liegen scheint.

Die übergreifende Lagerung ganzer Faunen, die so oft als Ausdruck ozeanographischer Änderungen des Meeres betrachtet werden, sind in vielen Fällen nur örtliche Verschiebungen der Biosphäre, die unberührt und unbeeinflußt von großen Veränderungen der anorganischen Umwelt, ebenso leicht ihre Standorte beibehalten kann, wie sie bei unveränderten Lebensbedingungen ihre Verbreitungsgrenzen verlagert.

Das Leben ist ein Proteus. Biegsam und veränderlich und doch durch die Gesetze der Selbstregulierung und der Vererbung streng gebunden.

Wie uns die rezente Gegenwart die feine und vielseitige Abhängigkeit der Rassen und Arten, Gattungen und Lebensgenossen von bestimmten äußeren Umständen vor Augen stellt, so dürfen wir uns nicht damit begnügen, die Faunen und Floren der Vorzeit nur nach ihren Artcharakteren zu beschreiben oder chronologisch aneinander zu ordnen, wenn wir den Anspruch erheben, daß wir die „Erdgeschichte" erforschen. Nur auf dem Hintergrund lebloser, aber durch das Leben beeinflußter geologischer Vorgänge zeichnen sich deutlich jene organischen Kausalreihen ab, die einen biologisch denkenden Paläontologen befähigen, die Geschichte der Erde und des Lebens zu ergründen.

Literatur

Burckhardt, R., Zur Geschichte der biologischen Systematik. Verh. d. Naturf. Gesellschaft in Basel Bd. 16, 1903, S. 388—440. — Driesch, H., Die Biologie als selbständige Grundwissenschaft. 2. Aufl., Leipzig 1910. — Häckel, E., Generelle Morphologie der Organismen. Berlin 1866. — Hertwig, O., Allgemeine Biologie. 3. Aufl., Jena 1909. — Jensen, P., Organische Zweckmäßigkeit, Entwicklung und Vererbung vom Standpunkt der Physiologie. Jena 1907. — Loeb, Jaq., Dynamik der Lebenserscheinungen. — Molisch, H., Untersuchungen über das Erfrieren der Pflanzen. Jena 1897. — Roedel, H., Über das vitale Temperaturminimum wirbelloser Tiere. Halle 1881. — Roux, W., Der Kampf der Teile im Organismus 1881. — Roux, W., Die Selbstregulation, ein charakteristisches und nicht notwendig vitalistisches Vermögen aller Lebewesen. Bd. 100 der Nova Acta Leopoldina. — Scheiner, J., Populäre Astrophysik. Leipzig 1908. — Spencer, H., Die Prinzipien der Biologie. Stuttgart 1876. — Stahl, E., Laubfarbe und Himmelslicht. Naturw.,

Wochenschr. XXI. Bd., 19, 1906. — Suess, E., Über heiße Quellen. Verh. d. Ges. Deutsch. Naturf. u. Ärzte. — Tschulok, S., Das System der Biologie in Forschung und Lehre. Jena 1910. — Verworn, M., Die Biogenhypothese. Eine kritisch-experimentelle Studie über die Vorgänge in der lebendigen Substanz. Jena 1903. — Verworn, M., Allgemeine Physiologie. 5. Aufl., Jena 1909. — Walther, J., Geschichte der Erde und des Lebens, 1908. — Weißmann, A., Über die Dauer des Lebens. Jena 1882.

23. Die Anfänge des Lebens

Daß das Leben auf der Erde einen Anfang gehabt hat und die ältesten Phasen ihrer Entwicklung ohne Lebensvorgänge verliefen, kann keinem Zweifel unterliegen. So erhebt sich die Frage, in welcher Weise und unter welchen Umständen das Leben auf der Erde begann.

In demselben Jahr, wo Darwins Werk über die Entstehung der Arten die Entwicklung des Lebens durch natürliche Auslese zu erklären versuchte, veröffentlichte Barrande die ersten Ergebnisse seiner gründlichen und umfassenden Untersuchungen über die damals älteste bekannte Lebewelt. Er nannte die mittelkambrische Fauna primordial und betrachtete sie als die Mutter aller später erscheinenden Formenkreise. Es war die Zeit, als man noch über den Namen jener Periode stritt, und Barrande stellte sich auf die Seite von Murchison, indem er das fossilreiche Gebiet von Böhmen, das wir jetzt in Kambrium, Silur und Devon gliedern, mit dem Namen „Silur" bezeichnete.

Die Auffassung von Barrande wurde bald dadurch hinfällig, daß es gelang, unter der Paradoxidesstufe eine ältere Olenellusstufe nachzuweisen und die Verbreitung dieser unterkambrischen Tierwelt über die ganze Erde zu verfolgen. Wenn man erwägt, daß viele jüngere Schichten auf einer kambrischen Unterlage liegen, die sie verhüllen und unserer Beobachtung entziehen, so gewinnen die reichen Faunen, die Bornemann aus dem Kambrium von Sardinien, Griffith Tailor aus Südaustralien, v. Toll aus Sibirien und besonders Walcott von Nordamerika beschrieben haben, steigende biologische Bedeutung.

Die kambrische Fauna ist zunächst ebenso reich an Arten wie an Individuen. Große, hochentwickelte Krebse, deren Umriß die Anpassung an ganz verschiedene Lebensweisen erkennen läßt, und artenreiche Brachiopoden lebten auf schlammigem wie auf sandigem Grund, und an manchen Fundplätzen der Trilobiten ist man geradezu überrascht von der Mannigfaltigkeit ihres Gliederbaues.

An anderen Aufschlüssen begegnen uns die Archäocyatiden, jene rätselhafte Gruppe, deren feines Kalkgerüst ihnen eine völlig abgesonderte Stellung im System der Tiere anweist. In Sardinien bilden sie ganze Riffe, an der Lenamündung treten sie gesteinsbildend auf und die großen Kalkgebirge, die von Adelaide nordwärts durch Australien ziehen, sind so reich an ihnen, daß man wohl von einem „kambrischen Wallriff"

sprechen konnte. Seitdem sie aber sogar am eisigen Südpol gefunden sind, darf man sie als eines der bezeichnendsten Faunenelemente der kambrischen Zeit betrachten.

So wetteifert die kambrische Tierwelt an Reichtum mit manchen späteren Perioden und unterscheidet sich doch von allen anderen Faunen durch eigenartige Charaktere. WALCOTT ist es gelungen, die Wurzeln der kambrischen Fauna noch in das liegende Algonkium zu verfolgen und damit zu beweisen, daß sie nicht die älteste Lebewelt der Erde sein kann und also ebenso eine Ahnenreihe gehabt haben muß, wie alle später auftretenden Lebewesen.

Es ist für unsere weiteren Betrachtungen von grundsätzlicher Bedeutung, daß diese älteste, so weitverbreitete und systematisch so reich gegliederte Fauna aus scharf gesonderten Individuen von gleichartiger Größe und übereinstimmender Organisation ihrer erhaltungsfähigen Teile besteht. Sogar das feine Gewebe ihres Stützgewebes stimmt mikroskopisch mit dem Bau ähnlicher Formen aus späteren Perioden überein.

Wir kennen aber nicht allein die erwachsenen Exemplare kambrischer Brachiopoden und Arthropoden, sondern auch die embryonale Entwicklung von hochentwickelten Gattungen wie Sao oder Agnostus; und hierbei zeigt sich mit unzweifelhafter Deutlichkeit, daß die Eigenschaften der ältesten bekannten Fauna zum Teil ererbt, zum Teil erworben sein müssen, also ebenfalls auf eine ältere vorkambrische Entwicklung schließen lassen.

Eine zweite Tatsache, die wir unserer weiteren Behandlung zugrunde legen, ist die, daß sich alle späteren Faunen ohne irgendwelche morphologische Unterbrechung monophyletisch an die ältesten bekannten Tierformen anschließen. Trotz der unermeßlichen Länge der seit dem Kambrium verflossenen Zeiträume ist seither das Leben niemals unterbrochen worden, und seit dem Untersilur ist keine einzige Tiergruppe aufgetreten, deren Eigenschaft sich nicht zwanglos in das allgemeine zoologische System einordnen ließ. Alle die abenteuerlichen Sondertypen wie Eurypteriden, Belemniten, Rudisten, Theromorpha oder Pterosaurier lassen sich vergleichend anatomisch und geologisch auf ähnlich gebaute Ahnen zurückführen und keine einzige dieser nur fossilen Gruppen steht außerhalb der rezenten Typenkreise.

So drängen alle geologisch bekannten Tatsachen zu demselben Schluß, den wir schon in Abschnitt 12 gezogen hatten: daß die älteste bekannte fossile Lebewelt auf älteren Gesteinen lagert, die nur deshalb fossilleer sind, weil sie ihren Fossilgehalt durch nachträgliche Vergneisung eingebüßt haben und daß in ihnen möglicherweise noch manche Spur älterer Faunen gefunden werden wird. Bis dahin können wir freilich nur mit allgemein biologischen Betrachtungen die Frage nach der Entstehungsweise und den Eigenschaften der ältesten Lebensformen prüfen.

Da das Protoplasma eine Flüssigkeit ist, die mehr als 50 % flüssiges Wasser enthält, muß das Wasser als Heimat des Lebens betrachtet werden. Da außerdem NaCl zu den notwendigen chemischen Bestandteilen der lebendigen Substanz gehört, ist es naheliegend, das Meer als die Region zu betrachten, wo die ältesten Formen des Lebens entstanden.

Es erschien früher wahrscheinlich, daß das Leben als ein „Urschleim" am Boden der „Tiefsee" entstanden sei. Als die ersten transatlantischen Kabel gelegt wurden und zum erstenmal Grundproben aus 4000 m Tiefe untersucht werden konnten, entdeckten Carpenter und Huxley darin einen zähen körnigen Schleim, der sich noch unter dem Mikroskop in seltsamer Weise bewegte. Huxley nannte diese Masse zu Ehren des großen Biologen Bathybius Haeckeli und als im Jahre 1872 die englische Tiefsee-Expedition auf dem Challenger hinausfuhr, gedachte man die Lebenserscheinungen dieses merkwürdigen Wesens genau zu untersuchen. Bald erkannte J. Murray, was auch Möbius in Kiel festgestellt hatte, daß der Bathybius als ein kolloidaler Niederschlag von Gips entsteht, wenn man Alkohol in Seewasser gießt, der dann „Brownsche Molekularbewegung" zeigt.

Aber der Bathybiushypothese von Huxley lag nicht nur ungenügende Beobachtung, sondern auch ein grundsätzlicher biologischer Fehler zugrunde. Denn das Leben auf der Erde erhält sich durch die Assimilation gefärbter Pflanzenteile im Sonnenlicht. Die heutige Erde und das Weltmeer gliedern wir nach dieser Hinsicht in zwei grundsätzlich verschiedene Gebiete. Die diaphane Region umfaßt alle Lebensräume, welche vom Sonnenlicht erreicht werden. Dazu gehören das Festland und die Oberschicht der Hydrosphäre bis hinab zu 2—400 m; innerhalb dieser Tiefe verschwinden alle Lichtstrahlen der Sonne durch Absorption. Von dieser Assimilationsgrenze, die je nach der Reinheit des Wassers und der Höhe des Sonnenstandes gewissen Schwankungen unterworfen ist, beginnt die lichtlose Tiefsee. Sie gehört, ebenso wie alle Lücken und Hohlräume innerhalb der Erdrinde und das Polargebiet während der halbjährlichen Winternacht, zur aphotischen Region, in der ursprüngliches Leben unmöglich ist. Das Tierleben der Tiefsee nährt sich von dem Moder und den Leichen, die aus der lichtreichen Oberzone des Meeres und der diaphanen Flachsee hinabsinken. Nur in diesen Gebieten entsteht das Leben täglich neu, nur hier kann es auch erstmals entstanden sein.

Bekanntlich sind aber auch höhere Wärmetemperaturen für alle Lebewesen tödlich, und wenn gewisse biologische Schutzvorrichtungen manche Tiere und Pflanzen in den Stand setzen, hohe Wärmegrade zu ertragen, wenn Wüstenpflanzen auf 60° erhitzt werden und Algen noch bei etwa 80° in den heißen Tümpeln des Yellowstoneparkes leben können, so gerinnt doch nacktes Eiweiß bei 50°, und so konnte das älteste

Leben nur erst dann im Meere entstehen und sich fortpflanzen, nachdem diese Temperaturgrenze unterschritten war.

Die ältesten Lebewesen müssen physiologisch autotrophe assimilierende Pflanzen gewesen sein, denn die Mehrzahl der Tiere lebt von geformter Pflanzensubstanz und vernichtet vorhandenes Protoplasma, ohne es neu erzeugen zu können. Wenn wir aber die große Mannigfaltigkeit der Assimilationsvorgänge, wie sie besonders die Bakterien zeigen, vergleichend überblicken, dann erscheint es ebenso sicher, daß das Leben auf der Erde mit allerlei physiologischen Übergangsformen begonnen haben muß, aus denen sich erst schrittweise durch Auslese die biologisch zweckmäßigste und bleibende Form der Assimilation herausbildete. Zahllose Generationen kaum geformter lebendiger Substanz mußten entstehen und vergehen, bis jener Vorgang erworben und vererbt werden konnte, der die Dauer des Lebens verbürgte.

Eine oft ausgesprochene Hypothese, die Arrhenius erneut vertritt, nimmt an, daß das Leben nicht auf der Erde entstanden, sondern von einem schon vorher belebten anderen Weltkörper übertragen worden sei.

Es ist denkbar, daß sich auch auf anderen abgekühlten dunklen Weltkörpern aus dem Kohlenstoffatom, dessen weite Verbreitung uns die Spektralanalyse lehrt, Lebensformen entwickelt und entfaltet haben, und wenn wir auch nicht die leuchtenden Sterne des Himmelsraumes als Träger organischen Lebens betrachten können, so sind doch wohl manche derselben von belebten Begleitern umgeben.

Auf zahlreichen dieser dunklen namenlosen Sterne mag eine dem irdischen Leben ähnliche Molekulargruppierung zu bewegten chemischen Systemen geführt haben, die sich selbst regulieren und durch Fortpflanzung selbst erhalten. Allein diese Systeme müssen sich morphologisch und biologisch anders verhalten wie die Lebensformen, welche unsere Erde bewohnen, weil sie unter anderen Bedingungen und Anpassungen entstanden und mit anderen Erbteilen belastet wurden. Angenommen, es gäbe auf diesen dunklen Sternen, die weder Licht- noch Wärmestrahlen aussenden, eine Kraft, welche organisch belebte und bewegte kleinste Teilchen nach dem dunklen, kalten Weltenraum zerstreute, so wäre zunächst schon die Möglichkeit eines Transportes durch den kalten Weltenraum und durch die irdische Atmosphäre (in der selbst die Eisenmeteoriten schmelzen und die Steinmeteoriten zersplittern) überaus gering. Viel wichtiger aber erscheint es uns, daß eine solche „Impfung der Erde“ mit Lebensstoff nicht nur einmal, in der präkambrischen Zeit, erfolgt sein könnte, sondern sich wahrscheinlich in den langen seither verflossenen Zeiträumen wiederholt haben müßte.

Nun läßt sich aber auf Grund der vergleichenden Anatomie mit Sicherheit sagen, daß die rezente Lebewelt zusammen mit den Faunen und Floren aller früheren Perioden stammesgeschichtlich eine Einheit

bildet. Selbst die Grenze zwischen Kambrium und Silur bedeutet keinen Sprung in der Entwicklung des Lebens, denn die kambrischen Brachiopoden sind mit den heutigen Gattungen, die Spongien mit den rezenten Kieselschwämmen verwandt, und seither läßt sich in der ganzen Schichtenfolge keine Stelle auffinden, wo eine völlig neue Stammesreihe angefangen hätte. Niedere und höhere Tiere lassen sich auf die schon im Untersilur vorhandenen Typen restlos zurückführen, nirgends entdecken wir die Wurzel eines neuen Stammbaumes.

Wenn also in der unendlich langen Zeit, die seit dem Kambrium bis zur Gegenwart verflossen ist, niemals wieder ein neuer Lebenskeim auf die Erde gekommen ist und zu neuen Entwicklungsreihen Anlaß gab, dann erscheint es im hohen Grade unwahrscheinlich, für eine ältere Periode eine solche Übertragung des Lebens von einem Weltkörper auf den anderen anzunehmen.

Wir sehen also in der fossilen und rezenten Lebewelt eine unserer Erde eigentümliche tellurische Erscheinung und sind überzeugt, daß auch auf manchen anderen Weltkörpern aus der Gruppierung von C-, O-, H-, N-, S-Atomen lebendige Moleküle entstanden sein dürften, daß sie aber ganz andere Formen angenommen haben müssen, als sie die auf unserer Erde herrschende Bedingungen erzeugten.

Wenn wir im Auge behalten, daß das irdische Leben von den Sonnenstrahlen erhalten wird, dann möchten wir sogar annehmen, daß nicht die im Laufe der Erdgeschichte immer wiederkehrenden tellurischen Ursachen und Bedingungen die ersten Lebensformen geschaffen haben, sondern ein unperiodisch auftretendes einmaliges Ereignis von besonderer Eigenart, daß mit anderen Worten das Leben unter dem Einfluß des Sonnenlichtes entstanden sein muß.

Die irdischen Wärme- und Lichtstrahlen, wie sie durch elektrische Entladungen und vulkanische Eruptionen veranlaßt werden, treten in der Regel lebensfeindlich auf und sind geologisch so oft wiedergekehrt, daß die paläontologische Geschichte des Lebens ein Abbild ihrer Wirkung erkennen lassen müßte, wenn sie auch nur einmal lebenschaffend gewesen seien.

Dagegen kann es keinem Zweifel unterliegen, daß das erste Erscheinen der Licht und Wärme spendenden Sonnenstrahlen auf unserer Erde ein ganz besonderes Ereignis gewesen sein muß und völlig neue Zustände einleitete. Der erste Sonnenstrahl, der die Uratmosphäre unserer Erde durchdrang und die rasch unterkühlten Gewässer des salzigen Urmeeres von oben her beleuchtete und erwärmte, konnte auch den Anlaß zu jenen molekularen Vorgängen geben, aus denen sich allmählich und unter beständiger Auslese des Vergänglichen jene stabilen, sich selbst regulierenden und fortpflanzenden Formen des irdischen Lebens herausbildeten, die seither als ein völlig neues Himmelsgeschenk immer neue

Formen annahmen und sich, den feindlichen Gewalten der anorganischen Natur zum Trotz, bis zur Gegenwart erhalten haben.

So kommen wir zu folgender Gliederung der Gesteinsfolge im Grundgebirge der alten Massive:

I. Urzeit

Archaikum in Canada 20000 m mächtig, in mehrere Abteilungen gegliedert	Azoikum völlig kristalline Silikatgesteine ohne organische Reste **Entstehung des Lebens** Agnostozoikum kristallin gewordene Gesteine ohne erkennbare Fossilien, aber mit organischen Kalk- und Graphitlagern.
1. Algonkium in Schottland 5000 m mächtig	kristallin gewordene oder wenig verwandelte Gesteine, deren Fossilgehalt aber nur in seltenen Fällen erhalten ist.
2. Kambrium in Nordamerika bis 4000 m mächtig	ursprüngliche Gesteinsfolge meist fossilreich, gelegentlich umkristalliert und dann fossilleer geworden.

II. Altzeit

3. Silur. 4. Devon. 5. Karbon. 6. Perm.

Literatur

Biedermann, Aufnahme, Verarbeitung und Assimilation der Nahrung in Winterstein, Handbuch der Vergl. Physiologie II, 1, S. 23 f. — Barrande, J., Über die Primordial-Fauna. Bull. Soc. Geol. 1887, XIV, 439. — Bornemann, Verst. d. kambr. Systems von Sardinien. N. Acta Acad. Leopoldina, Halle 1886. — Dana, J. J., Americ. Journ. Science 1892, S. 455. — Griffith Taylor, The Archaeocyathinae. Mem. R. Soc. South Australie. Adelaide 1910. — Huxley, Deep-Sea Soundings in the N. Atlantic by Cpt. Dayman. London 1858. — Huxley, Q. J. Micr. Soc. 1868, S. 203. Proc. Roy. Geogr. Soc. XIII, 1869, S. 110. — Moz, C., Erwägungen zur Frage der Urzeugung. Schriften der Ph. Ök. Ges. Königsberg 1918. — Murray, J., Narrative Challenger Report I, S. 939. — Haeckel, E., Prinzipien der Generellen 1866, II, 6. — v. Toll, Beiträge zur K. des Sibirischen Kambriums. Mem. Acad. St Morphologie. Petersburg VIII, 1899. — Walcott, Cambrian Brachiopoda. Mem U. St. Geol. Survey Vol. LX. — Walcott. Cambrian geology and palaeontology. Smithsonian miscellan coll. 1908. — Walther, J., Bionomie des Meeres. Jena 1893, S. 37. — Walther, Geschichte der Erde und des Lebens. 1908, S. 16.

24. Die Sonderung der Lebewelt

Für die Besiedelung der Erde mit Lebewesen waren nicht nur die inneren physiologischen und äußeren bionomischen Bedingungen der Entstehung von Organismen entscheidend, sondern ebenso sehr ihre Fähigkeit, sich zu erhalten und zu vermehren. Der Stoffwechsel des lebenden Plasmas scheidet beständig verbrauchte Teile ab, und wenn solche nicht ersetzt werden, so ist der Erschöpfungstod unausbleiblich. So sehen wir denn heute die Gesamtheit der Organismen in zwei Reihen zerfallen:

Als *autotroph* (sich selbst ernährend) bezeichnet man Organismen, die sich unabhängig von anderen durch Aufnahme lebloser Stoffe erhalten. Es gehören hierher die meisten festländischen und in der diaphanen Region lebenden planktonischen und benthonischen Pflanzen; dazu kommen viele den Boden des Meeres bewohnende Tiergruppen. Dagegen gehören die festländischen und die meisten freibeweglichen Tiere des Meeres, endlich alle Pilze und Bakterien sowie vereinzelte Formen aus den oben genannten zu den *heterotrophen* Organismen, die sich nur durch Aufnahme fertiger organischer Nahrung am Leben erhalten. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß *die autotrophen Lebewesen die phyletisch älteren* gewesen sind, wenn wir auch nicht in der Lage sind, eine bestimmte Form der Assimilation als die Urform des Lebens zu bezeichnen. Jedenfalls war die bezeichnendste Eigenschaft der organischen Materie von Urbeginn die Fähigkeit, sich selbst zu ernähren und sich durch Selbstregulierung ihrer molekularen Vorgänge am Leben zu erhalten.

Neben dieser Sonderung der Organismen nach der Art ihrer Ernährung fällt uns ihre Zerlegung in *einzelne Personen* oder Individuen auf. Der oft ausgesprochene Gedanke, daß das irdische Leben zunächst als ein formloser, nicht individualisierter „Urschleim“ aufgetreten sei, beleuchtet den Gegensatz, in dem hierzu alle rezenten Organismen stehen. Denn selbst die Plasmodien mancher Pilze erreichen nur eine gewisse Größe und zeigen darin eine gewisse Selbstregulierung des Wachstums.

Es läßt sich paläontologisch beweisen, daß die Differenzierung der Lebewesen *in gesonderte Individuen von einer bestimmten durchschnittlichen Größe* schon zu den ältesten Eigenschaften des Lebens gehört. Das Ausmaß der kambrischen Brachiopoden und Arthropoden fällt vollkommen in die Grenzzahlen, die beide Tiergruppen bis heute erkennen lassen. Selbst die stockförmigen Archaeocyathiden weichen nicht von den Gesetzen ab, die ähnlich wachsende Kolonien von Korallen oder Tabulaten zeigen. Die oft betonte Riesengröße fossiler Wirbeltiere tritt ganz zurück gegenüber den so häufigen mittleren Dimensionen.

Hand in Hand mit der Sonderung in Individuen geht sodann eine ebenso durchgreifende und ebenso alte Trennung der Organismen in deutliche *Arten* und gleichzeitig lebende *Rassen*.

Denn nach denselben systematischen Grundsätzen, die wir bei der Bestimmung rezenter Faunen anwenden, können wir jede beliebige ältere Lebewelt sondern und anordnen, bis hinab zu den ältesten, an Individuen und Arten so reichen Brachiopoden des Kambrium.

Wenn wir im folgenden die vielgestaltigen Organismen in größere Gruppen trennen, so denken wir weniger an die Systematik ihrer äußeren Form mit Rücksicht auf phyletische Fragen, sondern an die *Beziehungen der Organismen zu ihrer Umwelt*, die wir unter dem Namen *Bionomie* zusammengefaßt haben.

Nachdem JOHANNES MÜLLER und seine Schüler die reiche Formenwelt der kleinen, im Wasser schwebenden, Organismen entdeckt und als „Auftrieb" bezeichnet hatten, schlug V. HENSEN dafür den Ausdruck „Plankton" vor, und E. HAECKEL schuf, auf diesem Wege weiterschreitend, eine bionomische Gliederung der Lebewesen, die sich auch bei paläontologischen Arbeiten als überaus zweckmäßig erwiesen hat und deren Grundzüge hier weiter ausgebaut werden sollen.

Die Gesamtheit der gleichzeitig lebenden Organismen bezeichnen wir als die Lebenshülle der Erde oder die Biosphäre. Sie schaltet sich zwischen die unbelebten, beweglichen Hüllen des Erdballs (Atmosphäre, Hydrosphäre, Lithosphäre und Pyrosphäre) ein, vermittelt deren Stoffaustausch und beeinflußt seit ihrer Entstehung mit zunehmender Stärke fast alle geologischen Vorgänge an der Oberfläche der Erde.

Tiefgreifende morphologische und biologische Unterschiede bestehen zwischen den im Wasser lebenden, im Wasser atmenden, sich nährenden und verbreitenden Wesen, dem Hydrobios (Wasserwelt), und den das trockene Festland bewohnenden Organismen, dem Geobios (Landwelt).

Allseitig umgeben von einem schweren Medium, das passive Bewegungen begünstigt und aktive erleichtert, das die für das Leben nötigen Nährsalze enthält, dessen Temperatur nur wenig schwankt und dessen Bewegungen, von der Oberschicht der Gewässer abgesehen, sehr langsam erfolgen, lebt die Wasserwelt unter so günstigen äußeren Umständen, daß wir hier nicht allein die Heimat des irdischen Lebens suchen dürfen, sondern auch die größte Verschiedenheit der Formenkreise finden. Aus dem Stamm der Arthropoden haben sich nur die Tracheaten, aus dem der Wirbeltiere nur die Reptilien und Vögel und Säuger ganz vom Wasserleben freigemacht; alle übrigen Tierstämme gehören mit vereinzelten Ausnahmen dem Hydrobios an. In der Pflanzenwelt scheinen die Verhältnisse anders zu liegen, da die meisten höheren großen Pflanzen auf dem Festland leben; aber wenn wir die niederen Pflanzengruppen betrachten, überwiegt auch bei ihnen das Wasserleben.

Der Stoffwechsel der Wasserwelt ist an die chemische Zusammensetzung der umgebenden Lösung gebunden und wechselt mit dieser nach Ort und Zeit.

Das größte Wasserbecken, in dem sich die Lösungen aller einströmenden Flüsse vereinigen, ist das Weltmeer. Wellen und Strömungen bedingen es, daß sein Salzgehalt in allen Breiten nahezu derselbe ist und daß die 3,5 % Salze fast überall dasselbe Mischungsverhältnis zeigen. Wir dürfen annehmen, daß dies zu allen Zeiten der Erdgeschichte so war, und nennen die Bewohner dieses einheitlich gesalzenen Weltmeeres marin. Die meisten Wasserbewohner nehmen durch ihre Haut oder besondere Organe (Blut- und Wassergefäßsystem) Mengen des umgebenden Wassers in ihren Körper auf. Ihre Schleim-

häute sind für die Salzmenge abgestimmt; sie werden von MÖBIUS stenohalin genannt.

Die Ausdehnung und die günstigen Lebensbedingungen des Meeres bedingen es, daß seine Fauna in der Regel aus zahlreichen Gattungen und Arten gemischt ist und daß individuenreiche Tiergenossenschaften einer Art dazwischen nur unter besonderen Umständen auftreten.

An den regenlosen Küsten der ariden Zone lebt das formenreiche marine Hydrobios in direkter Nachbarschaft der festländischen Lebewelt. Dagegen schaltet sich in der regenreichen, humiden und pluvialen Zone, am Mündungsgebiet großer Flüsse, eine Zone von verdünntem Brackwasser ein, in der nur brackische Formen leben. Die euryhalinen Tiere sind von der Konzentration des Wassers unabhängig. Ein wechselnder Salzgehalt beeinflußt besonders die Ausscheidung der Kalkschalen; die Austern bilden sehr massive, dicke Schalen, vielleicht waren auch die Rudisten euryhalin; manche Foraminiferen und Muscheln werden kalkarm. Auch unbegrenztes Größenwachstum oder geringe Formbeständigkeit (Inoceramus) deuten auf brackisches Wasser.

Das salzarme Brackwasser leitet hinüber zum Süßwasser der Flüsse und der ihnen eingefügten Schaltseen, deren Bewohner wir als limnisch bezeichnen. Von räuberischen Haien, Reptilien und Delphinen abgesehen, die weit in die großen Flüsse hineinwandern, sowie den darin laichenden Knochenfischen und Ganoiden sind nur ganz vereinzelte Vertreter mariner Tiergruppen in das Süßwasser gewandert (Heliozoum, Spongilla, Hydra und einige wenige Medusen, Würmer, Bryozoen, Muscheln, Schnecken und Krebse). Es fehlen vollständig die Echinodermen und Brachiopoden. Da der Kampf ums Dasein unter den jeweils einwandernden Formen wesentlich geringer ist als im Meere, nimmt der Individuenreichtum oft sehr zu.

Durch Klimaänderung können große Festländer regenarm werden; das Flußwasser verdampft und selbst große Ströme erreichen nicht mehr das Meer. Sie münden dann vielfach fern von der Küste in einem abflußlosen Endsee, der langsam versalzt. Aber auch auf anderem Wege entstehen kleine und große Binnenseen mitten in der Wüste, und in ihnen siedeln sich durch windgetragene Keime (Estheria) oder durch Verschiebung der Wasserscheiden Mollusken und Fische an, die bald das ganze Becken mit ungezählten Nachkommen bevölkern. Diese oft sehr individuenreichen Faunen versalzender Gewässer nennen wir salin. Oft können wir aus der Zusammensetzung derselben erkennen, ob sie aus dem Meer, durch Flüsse oder durch die Atmosphäre besiedelt worden sind:

Die Wasserwelt (das Hydrobios) zerfällt nach dem Salzgehalt des Lebensraumes in die marine Meereswelt, die limnische Flußwelt und die saline Beckenwelt, und wir unterscheiden weiter nach der Lebensweise die:

1. Schwebewelt: das Plankton und Meroplankton,
2. Schwimmwelt: das Nekton,
3. Treibwelt: das Pseudoplankton und Nekroplankton,
4. Bodenwelt: das vagile Benthos,
5. Grundwelt: das sessile Benthos.

Nach ganz anderen Gesetzen sonderte sich die Landwelt (das Geobios), die leicht gegliedert werden kann in Pflanzen und Tiere, aus denen sich die Luftwelt (das Aerobios) entwickelte.

1. Die Schwebewelt (das Plankton) umfaßt alle im Wasser schwebenden Organismen. Sie sind meist von geringer Körpergröße, haben oft nur einen Durchmesser von 20 μ und erfüllen in ungeheuer dichten Schwärmen die höheren wie die tieferen Schichten des Wassers. Zwischen ihnen treten vereinzelt oder schwarmweise. auch größere Tiere auf, die sich an das planktonische Leben angepaßt haben. Die Mehrzahl der in den lichten oberen Wasserzonen schwebenden Planktonwesen sind autotroph und durch gelbe oder grüne Zellen befähigt, zu assimilieren; sie werden meist als „Pflanzen" bezeichnet, andere (wie Radiolarien und Foraminiferen) rechnet man zu den „Tieren". Diatomeen und Radiolarien besitzen Kieselhüllen, die Coccolithophoriden. Foraminiferen und Pteropoden erzeugen zarte Kalkgerüste. Die meisten sind nackt oder mit durchsichtigen Hornschälchen umgeben. Mit bloßem Auge kann man die Mehrzahl derselben im Wasser kaum erkennen und selbst die größeren Formen, wie Medusen, Ctenophoren, Siphonophoren, Salpen und Pyrosomen, haben einen glashell durchsichtigen Körper. Manche Fische sind mit zarten silberglänzenden Schuppen bedeckt, die sie in den glitzernden Wellen verschwinden lassen.

Das Plankton ist auf das spezifische Gewicht des umgebenden Wassers eingestellt und besitzt Einrichtungen, um in die ihm zusagende Wassertiefe hinab- oder hinaufzusteigen. Das spezifische Gewicht wird vielfach durch Fetttröpfchen erleichtert und in tropischen Meeren fährt das Schiff oft tagelang durch dünne Ölschichten, die an der Wasseroberfläche aus abgestorbenem Plankton entstanden. Auch kontraktile Luftblasen regulieren die vertikalen Bewegungen. Die küstennahen Gewässer sind bis 50mal reicher als die Hochsee. Die Tropenmeere sind artenreicher und die Skelette oft zierlicher und mannigfaltiger als in kühlen Gewässern. Dagegen ist der Individuenreichtum in höheren Breiten unvergleichlich größer. Jede Veränderung des Salzgehaltes, des Lichtes oder der Temperatur wirkt auf die Verteilung des Planktons ein. Das Lichtoptimum für die Planktonpflanzen liegt etwa in 50 m Tiefe. Doch leben einzelne Formen noch in 400 m Tiefe; dann folgen heterotrophe Planktontiere, deren Zahl von 1500 m Tiefe rasch abnimmt. Die Radiolarien der kalten Tiefsee besitzen viel plumpere und einfachere Skelette als die in den wärmeren Oberschichten.

Die mit zierlichen Stacheln, Gitterkugeln, Helmen und Flügeln bedeckten Hüllen darf man nicht als Schutzwehr gegen Feinde betrachten; denn von den kleinsten Krebsen bis zum größten Wal ernähren sich zahllose Meerestiere, indem sie mit geöffnetem Maul durchs Wasser schwimmen und in zweckmäßig gebauten Siebapparaten den Planktonbrei sammeln, ohne unter den Stacheln der Radiolarien zu leiden. An den Wohnplätzen der Planktonfresser wird der Meeresgrund besonders reich an solchen Resten sein.

Während wir die ältesten bekannten kambrischen Medusen als kriechende Bodentiere bezeichnen müssen, kennen wir aus dem Dogger von Weitenberg, dem Malm des Altmühlthales und den Wernsdorfer Schichten der Karpathenkreide echte planktonische Quallen. Auf den Plattenkalken von Pfalzpaint liegen riesige Medusen, mit den Rändern sich schneidend, vortrefflich in feinen Kalkschlamm abgeformt. Die vom Meere ausgeworfenen Quallen lösen sich bekanntlich leicht in einen gallertigen Schleim auf; ich beobachtete aber am Ufer des Roten Meeres Hunderte von handgroßen Medusen, die, durch die Wüstensonne zu einem dünnen Gelatineblatt eingetrocknet, wohl einen dauernden Abdruck erzeugen konnten.

Das Plankton gehört zu den ältesten Formen des Hydrobios. Schon in den präkambrischen Schiefern von St. Lô sind zahlreiche Radiolarien gefunden worden, und es ist bemerkenswert, wie ähnlich diese alten Formen den heute lebenden Gattungen sind. Die Untersuchungen von Rüst haben fast in allen Formationen radiolarienreiche Gesteine nachgewiesen und das große Alter vieler heute lebender Gattungen gezeigt.

In der heutigen Wasserwelt lassen sich die ursprünglichen Planktonwesen von den nachträglich planktonisch gewordenen Gruppen leicht sondern. Jene sind durchaus planktonisch, wie die

	kieseligen	kalkigen
1.	Radiolarien,	Coccolithophoriden, Pteropoden,
2.	Dictyochen.	Copepoden, Ostracoden.

Ungemein reich muß das Silurmeer auch an den planktonischen kugeligen Cystoiden gewesen sein. Die Schichtentafeln am Kinnekullen sind überdeckt mit Millionen von Sphaeronites; auch die zarten Hohlkugeln von Echinosphaerites und Glyptosphaerites sprechen für ähnliche Lebensbedingungen.

Zum Plankton rechne ich auch Hyolithes, Torellella, Salterella und Tentaculites ebenso wie die zartwandige Conularia.

Viele benthonische Gruppen enthalten aber vereinzelte planktonisch gewordene Formen:

Unter 86 Gattungen, die Brady aus der Gruppe der Foraminiferen unterscheidet, sind nur Globigerina, Hastigerina, Pullenia, Pulvinulina, Globigerina und Orbulina im Plankton häufig. Als planktonisch betrachte

ich auch einige ungemein verbreitete fossile Foraminiferen, nämlich die rundlichen Fusulina, Schwagerina und Alveolina, sowie die scheibenförmigen Nummulites. Ob diese Formen, wie die rezenten Orbulina, Globigerina und Hastigerina ihr Schwebevermögen durch vergängliche hohle Stacheln steigerten, wäre noch zu untersuchen — aber jedenfalls spricht ihre weite Verbreitung und ihre Einbettung in die Gesteine für eine schwebende Lebensweise.

Die im allgemeinen festsitzenden Crinoiden sind mehrfach planktonisch geworden und haben sich hierbei so seltsam umgebildet, daß sie im System eine ganz gesonderte Stellung einnehmen. Im Malm von Solnhofen tritt Saccocoma schwarmweise auf; neben der häufigen S. pectinata, deren verschmolzene, dünnhäutige Krone schon J. Müller zur Aufstellung einer Gruppe der Costata veranlaßte, ist S. tenella und S. Schwertschlageri durch eine ganz eigenartig abweichende Umbildung der Arme ausgezeichnet.

Aus der Gruppe der Fistulata ist Marsupites, aus der Ordnung der Flexibilia Uintacrinus in der oberen Kreide planktonisch geworden.

Aber am seltsamsten haben sich einige silurische Seelilien zum passiven Schweben fähig gemacht, indem sie an ihrem Stielende eine bis kopfgroße gekammerte Kalkblase bildeten, die als Lobolithus oder Scyphocrinus beschrieben ist. Wenn man auf den freigelegten Schichtentafeln bei Prag die großen Kalkblasen liegen sieht, als wenn die daranhängende gestielte Seelilie eben im flachen Litoral angetrieben worden wären, gewinnt man lehrreiche Einblicke in die silurische Lebewelt.

Die auffallende Verbreitung der leitenden Arten von Productus mit ihren silberglänzenden Schalen und meist abgefallenen hohlen Stacheln spricht auch für schwebendes Leben.

Unter den Muscheln kennen wir merkwürdigerweise keine planktonische Form. Unter den anderen Mollusken treten Janthina sowie der altzeitliche Bellerophon und die kambrische Volborthella in Planktonschwärmen auf.

Die rezenten Krebse sind reich an planktonischen Formen; unter den fossilen wären die marinen kambrischen Phyllocariden, die limnische Leaia aus dem Karbon und die saline Estheria aus den mittelzeitlichen Wüstengebieten zu nennen; unter den Schizopoden war der limnische Gampsonyx aus rotliegenden Seen und der karbonische Bostrichopus planktonisch. Von den Trilobiten, deren Lebensweise so ungemein mannigfaltig war, rechne ich die Gattungen: Deiphon, Acidaspis und vielleicht Lichas zum Plankton.

Das limnische Plankton der Flüsse und Süßwasserseen ist viel artenärmer als das marine. Es wird durch Dauerkeime leicht verbreitet und manche früher als Reliktenform betrachtete planktonische Krebsart, die zu weittragenden Schlüssen über ehemalige hydrographische Be-

ziehungen geführt hat, hat R. CREDNER als eingewandert auffassen gelehrt. Auf demselben Wege erfolgt sehr häufig die Besiedelung von Salzseen inmitten der Wüste durch die Dauerkeime saliner Krebschen. Artemia und Estheria sind bekannte Beispiele.

Bezeichnend für das Auftreten der meisten Schwebewesen sind die Schwärme. Denn da ihre Entwicklung im klaren Wasser der Hochsee erfolgt und alle gleichzeitig befruchteten Jugendformen von denselben chemischen, ozeanographischen und physiologischen Umständen umgeben werden, so bleiben die Geschwister zusammen und bilden in ruhenden Meeresgebieten flächenhaft ausgedehnte Schwärme, in bewegten Strömungen aber langgestreckte Bänder (Correnti), die je nach ihrem weiteren Schicksal aus dicht gedrängten oder vereinzelten, artenarmen oder formenreichen, gleichartigen oder gemischten Lebensgenossen bestehen.

B. Das Meroplankton. Die Schwärmsporen und Larven der meisten bodenbewohnenden Pflanzen und Tiere entwickeln sich ebenfalls im freien Wasser, unternehmen hierbei ausgedehnte passive Wanderungen und setzen sich dann an den ihnen zusagenden Standorten wieder fest. Dieses meroplanktonische Jugendleben ist von der allergrößten biologischen und geologischen Bedeutung, denn es reguliert die jeweilige Verbreitung der gesamten Fauna im Meere und damit auch die Faunenfolge in einer Schichtenreihe. Die meisten Meerestiere, selbst wenn sie Beine und Schwimmapparate besitzen, sind nicht imstande, den Wohnort, in dem sie ihre Entwicklung durchlebt haben und wo sie die günstigen bionomischen Bedingungen fanden, zu verlassen. In der Regel wird ihr Wohnort auch zu ihrem Grab. Aber indem sie in jedem Jahr Schwärme von meroplanktonischen Larven aussenden, die dann durch Meeresströmungen verfrachtet werden, kann jeder günstige Standort, selbst wenn er viele Meilen weit von der einstigen Heimat gelegen ist oder neu entsteht, sofort mit einer daran angepaßten Flora und Fauna besiedelt werden. Die Kleinheit und Zartheit solcher Larven macht es verständlich, daß sie selten in unausgewachsenem Zustand fossil erhalten wurden.

Die Schicksale der ganz oder teilweise planktonischen Lebewesen sind grundverschieden, je nach den äußeren bionomischen Umständen. Geraten sie in eine nach Salzgehalt, Belichtung und Temperatur gleichartige Strömung, dann setzen sie ihren Weg mit derselben unbegrenzt weiter fort. Wird das Wasser zu kalt oder zu warm, dann können sie mit Hilfe ihrer hydrostatischen Einrichtungen hinab- oder hinauftauchen.

Rasch sammelt sich hinter ihnen die Schar der Planktonfresser, unter denen die Knochenfische seit dem Malm und die Bartenwale seit dem Miozän eine ungemein wichtige Rolle spielen. Wir werden zeigen, daß das Aussterben vieler mittelzeitlicher Meerestiere während der Kreidezeit mit den damals zur Herrschaft kommenden planktonfressenden Teleostiern zusammenhängt.

Wo planktonreiche Meeresströmungen von verschiedener Temperatur einander begegnen, muß das Sterben der Tierschwärme den Meeresboden chemisch sehr beeinflussen. Die Lage der rezenten Glaukonitsande spricht dafür, daß die fossilen Grünsande unter solchen Umständen gebildet wurden.

Merkwürdige Wirkungen hat eine Strömung, die vom Ostufer des Kaspi in das Wüstenhaff des Karabugas eindringt. Die Schar der toten Fische, die am Ufer herumliegen, ist nach Andrussow so groß, daß die Vögel, die in der wasserarmen Gegend ihren Durst mit der Augenbulbusflüssigkeit der Fische stillen, nur das nach oben liegende Auge anpicken.

2. Die Schwimmwelt (das Nekton). Die unbegrenzten Fluten des Meeres und die langgestreckten Wasserstraßen der Flüsse werden von einer eigentümlich umgeformten Lebewelt bewohnt, die in Anpassung an rasche aktive Bewegungen eine Gestalt ausbildeten, die unter ähnlichen mechanischen Umständen auch das Torpedo und Luftschiff erhalten haben.

Das Vorderende des langgestreckten und von glatten Kurven umgebenen Körpers ist zum „Kopf" umgewandelt. Hier sind Sinnesorgane zum Aufsuchen der Nahrung und die Greifwerkzeuge meist symmetrisch angeordnet. Die Muskulatur ist am Hinterende des Körpers zusammengedrängt. Gegliederte und einziehbare Flossen fungieren als Steuer-, seltener als Ruderorgane. Eine schleimige Haut oder glatte Schuppen erleichtern die raschen Bewegungen. Bei den Ganoiden ist die Anordnung der Schuppen in sehr charakteristischen Reihen von oben nach unten hinten auffallend; die durch Traquair anders orientierten Schuppenreihen von Birkenia scheinen verdrückt zu sein und die Schwanzregion muß umgedreht werden. Birkenia vertritt den typischen nektonischen Fischtypus schon im Obersilur. Aber ein Blick auf die ungeheure Mannigfaltigkeit der Fischformen vom Silur bis zur Gegenwart läßt erkennen, daß nur ein Teil der Fische „Fischgestalt" haben. Wir begegnen fischförmigen Ganoiden erst seit dem Karbon; die Knochenfische herrschen erst seit der mittleren Kreidezeit vor.

Wiederholt sind auch andere Wirbeltierordnungen fischähnlich geworden. Die auf das Süßwasser beschränkten Amphibien hatten freilich zu wenig Lebensraum zur Ausbildung der Fischgestalt. Daher finden wir Anklänge an dieselbe nur bei den permischen Mikrosauriern, den neuzeitlichen Salamandern und Cöcilien.

Ihre Unabhängigkeit vom Salzgehalt des Mediums hat die Reptilien besser dazu befähigt und so tritt uns in mehr oder weniger großer Vollkommenheit die Fischgestalt bei Rhynchocephalen (Homoeosaurus, Pleurosaurus, Thalattosaurus und Nectosaurus), bei Lacertiliern (Platynota und Mosasauria), bei Ichthyosauriern, Krokodiliern (Metriorhynchiden) entgegen.

Auch in der Klasse der Vögel zeigen seit der Kreidezeit Hesperornis und seit dem Tertiär die antarktischen Pinguine sowie manche Taucher eine nektonische Lebensweise; unter den Säugetieren haben sich in ähnlicher Weise die Delphine und Wale an die Lebensbedingungen der Hochsee angepaßt.

Aus dem großen Reich der Wirbellosen sind merkwürdigerweise nur ganz wenige Schwimmformen bekannt. Angesichts der langen Zeiträume und der vielen geologischen Veränderungen der Vorzeit ist es geradezu überraschend, daß nur die dibranchiaten Cephalopoden in den Belemnoiden und Sepioideen und die Arthropoden in vielen langschwänzigen Decapoden nektonisch geworden sind.

Die größeren Hochseetiere haben oft scheibenförmige Gestalt. Wenn man eine große Meduse mit trägen Kontraktionen ihrer Umbrella, eine Schildkröte mit langsamen Ruderbewegungen ihrer Füße oder einen riesigen Orthagoriscus im Wasser treiben sieht, dann versteht man, wie durch ähnliche Lebensgewohnheiten dieselbe Körperform bedingt wird.

Ein merkwürdiger biologischer Irrtum spricht der Schwimmwelt eine besonders weite geographische Verbreitung zu, obwohl jeder Tiergeograph weiß, daß selbst die nektonischen Fische fast immer enge Bezirke bewohnen. Dasselbe gilt von den fossilen Fischen. Die eozäne Fischfauna der Monte Bolca ist trotz ihres wunderbaren Formenreichtums der mediteranen Fauna vollkommen fremd und unter den horizontal weit verbreiteten Leitfossilien der Vorzeit finden wir keinen einzigen nektonischen Fisch. Von den vielen bekannten, nachweislich nektonischen Ichthyosaurus-Arten sind nur vier dem Lias von England und Deutschland gemeinsam, während die schwere benthonische Gryphaea arcuata und die große Lima gigantea in Schwaben wie in England häufig gefunden werden.

Es ist daher undenkbar, daß die leitenden Arten der Muscheln, Ammoniten oder Trilobiten, diese Eigenschaft einer nektonischen Lebensweise verdanken.

3. Die Treibwelt. A. Das Pseudoplankton. Das auf den Klippen des karaibischen Meeres wachsende Sargassum wird bei Stürmen abgerissen und treibt dann jahrelang mit Hilfe lufterfüllter Blasen an der Meeresoberfläche, indem es weiter vegetiert und wächst. Zahlreiche darauf schmarotzende Tiere beteiligen sich an dieser Wanderung und geraten so in Meeresgebiete, die ihnen eigentlich fremd sind. Schütt hat solche Formen als Pseudoplankton bezeichnet. In der Arafurasee beobachtete ich einen ganzen Tag lang zusammengewickelte Klumpen gelbbrauner Tange, die bis 2 m lang und $^1/_2$ m dick zu Hunderten im Wasser trieben. Sie schienen von den Küsten des Nordterritoriums zu kommen. Jedenfalls aber muß an dem Teil der Küste von Queensland

oder Neuguinea, wo sie angetrieben werden, ein mächtiges Lager von Tangkohle, reich an pseudoplanktonischen Tieren, entstehen.

Pseudoplanktonisch sind viele Cirrhipedien. Lepas sitzt in dichten Kolonien auf im Meere treibendem Holz und siedelt sich ebenso häufig auf treibendem Bimsstein an; Balaniden leben in der Haut von Walen und überkrusten die Planken hölzerner Schiffe so stark, daß sie deren Fahrtgeschwindigkeit verlangsamen.

Viele Crinoiden haben, an Treibholz angeheftet, weite passive Wanderungen ausgeführt, und manche plötzlich auftretende Trochitenschicht inmitten sandig-toniger Gesteine führe ich auf solche Drift zurück. Im limnischen Kulm des Frankenwaldes sind Schieferplatten beobachtet worden, auf denen ein anthrazitischer Stamm wie ein Heiligenschein ganz mit den noch fußlangen Stielen mariner Crinoiden besetzt war.

Eine Lias-Platte im Stuttgarter Museum zeigt, wie Pentacrinus mit dem Stielende um ein Stück Treibholz gewickelt durch das Meer getrieben wurden; der zugespitzte, biegsame, lange Stiel und die gewaltige Krone von P. Briareus sind nur verständlich, wenn wir annehmen, daß diese Seelilien nach unten hängend im Wasser trieben.

Die wichtigsten fossilen Vertreter des Plankton waren jedoch die Graptolithen. Diese in Europa auf das Silur beschränkte, aber in dieser Periode ebenso formen- wie personenreiche Tiergruppe findet man nur in schwarzem, kohlenstoffreichem Schiefer häufig, selten im gleichzeitig gebildeten gröberen Trümmergesteinen oder Kalken. In schwarzen Schiefern sind sie zwar ungemein zahlreich, aber meist unvollkommen erhalten. Dagegen wurden sie in Kalk, phosphoritischen Schwülen oder Feuerstein so gut erhalten, daß sie von Holm und Wiman mit dem Mikrotom und Mikroskop untersucht werden konnten. Die Anordnung der Theka an der Virgula und vereinzelte Funde vollkommen erhaltener Exemplare zeigen, daß viele an einem schwimmenden Körper angeheftet trieben. Ihre bis meterlangen Zellreihen wurden fast stets zerbrochen und halbvermodert eingebettet. Noch nie ist ein Graptolith gefunden worden, der aufrechtstehend durch mehrere Schichten der dünnplattigen Graptolithen-Schiefer hindurchragte. Besonders wichtig ist es, daß dieselben Schiefer keine anderen Tierreste enthalten, obwohl die mit ihnen wechsellagernden Gesteine reich an solchen sind. Wir betrachten daher diese unvermittelt eingeschalteten Graptolithen-Schiefer als Absätze von rasch entstehenden und leicht wieder vergänglichen, stillen, leblosen Schlammbuchten, an deren Boden kein Meeresleben gedieh, während die Graptolithen frei oder mit den verwesenden Pflanzen, an die sie angeheftet waren, hereintrieben, zu Boden sanken und bodenfremde fossilreiche Schichten bildeten.

B. Das Nekroplankton. Manche Tiere besitzen so lockere oder lufterfüllte Hartgebilde, daß sie an solchen Orten zur Ablagerung kommen,

wo die betreffenden Wesen nie gelebt haben. Es gehören hierzu die Skelette aller Radiolarien, Diatomeen und der planktonischen Foraminiferen. Sie beleben zwar die Hochsee, sind aber wie alle Planktonwesen so empfindlich gegen jede Veränderung der Temperatur, des Lichtes und des Salzgehaltes, daß wir ihre Reste nur an solchen Orten erwarten könnten, wo sie gelebt haben. Man könnte also Globigerinen nur in 50—100 m Wassertiefe und zahlreiche Radiolarien ebenfalls nur im Seichtwasser finden. Daß sie in so ungeheurer Menge und vielfach mit Ausschluß anderer Beimengungen in den Abgründen der heutigen Tiefsee verbreitet sind, hat also mit ihrem Lebensraum nicht das geringste zu tun.

Im Museum zu London werden riesige Korallenblöcke aufbewahrt, die im Meere schwimmend gefunden wurden. Augenscheinlich sind in ihren Hohlräumen Verwesungsgase entstanden, welche ihr spezifisches Gewicht erleichterten. Auch im oligozänen Septarienton von Köthen fand J. Freygang einen etwa 36 cm großen Korallenstock, der, ringsum mit Kelchen besetzt, nirgends eine Wurzel oder Stielregion zeigte.

Ganz allgemein beobachten wir, daß die Kalkschalen der lebenden Cephalopoden nach dem Tode planktonisch werden. In manchen Meeren sieht man zahlreiche Schulpe von Sepia herumschwimmen, und Spirula gehört zu jenen Tiefseetieren, deren zierliche Schälchen am Strand fast jeder tropischen Insel zu finden sind, während das lebende Tier ungemein selten ist.

Dasselbe gilt für Nautilus, der nur engumgrenzte Gebiete des Meeresgrundes bewohnt, während die mit Luftkammern versehenen Schalen Hunderte von Meilen weit an der Meeresoberfläche getragen werden. Die Drift nekroplanktonischer Nautilusschalen muß in manchen Teilen des indischen Ozeans so groß sein, daß ein kleiner Fisch in Anpassung daran in leeren Nautilusschalen lebt und hilflos suchend umherschwimmt, wenn man ihm die schützende Schale genommen hat.

Es handelt sich hierbei keineswegs um eine hypothetische Annahme, sondern um eine Tatsache, die jeder experimentell nachprüfen kann, wenn er einen Nautilus, eine Spirula oder Sepia mit anderen Conchilien in ein Wasserbecken bringt: alle Brachiopoden, Schnecken und Muscheln sinken unter — alle Cephalopodenschalen schwimmen.

Bekanntlich besitzen nun aber auch alle fossilen Nautiloideen und Ammonoideen eine aus abgeschlossenen Luftkammern zusammengesetzte Schale, von genau demselben Bau wie Nautilus und Spirula. Daß die meisten Luftkammern der fossilen Schalen wirklich mit Luft erfüllt waren, geht daraus hervor, daß wir sie noch heute oft leer oder mit chemisch ausgeschiedenen Kristallrinden erfüllt sehen. Nur die Wohnkammer und die ihr zunächst gelegenen letzten Luftkammern wurden mit Meeresschlamm ausgefüllt.

Ob und wie lange jede einzelne Orthoceras- oder Ammonitenschale nach dem Tode ihres Bewohners an der Meeresoberfläche geschwommen hat und wie weit sie von ihrem Standort durch Wellen oder Strömungen verfrachtet wurde, ehe sie wieder zu Boden sank und eingebettet wurde, ist eine gesonderte Frage. Aber wenn ich erneut betone, daß der Fund einer einzelnen Ammonitenschale kein Beweis dafür ist, daß das betreffende Tier auf dem umhüllenden Sediment gelebt hat, so ziehe ich diesen Schluß aus dem ausnahmslosen Verhalten der rezenten schalentragenden Cephalopoden.

Auch die Rostra der Belemniten sind wahrscheinlich lange als leichte Treibkörper herumgeschwommen, ehe sie am Strande antrieben („Belemnitenschlacht“ Quenstedt's) oder wieder zum Boden hinabsanken.

4. Die Bodenwelt. A. Das Benthos. Wenn wir im Phytoplankton des offenen Meeres die Urnahrung des Hydrobios und wohl auch die physiologisch ältesten Formen des irdischen Lebens erblicken dürfen, so scheint das bodenbewohnende Benthos noch heute die Formenwelt zu umfassen, innerhalb deren die ältesten Tierstämme aufblühten. Alle phyletisch alten, primitiven Tiere der Gegenwart gehören der Bodenwelt der Flachsee an. Hier finden wir noch lebend die Geschlechter der Lingula, Arca, Nucula, Rhynchonella, Limulus, Nautilus und Amphioxus. Das vagile Benthos enthält nur Tiere, das sessile auch Pflanzen.

Das Benthos ist ebenso sehr an seine Umgebung angepaßt wie das Plankton. Wenn dieses durchsichtig, wasserreich, leicht und mit Schwebevorrichtungen versehen ist, so besteht die größte Ähnlichkeit zwischen den Formen und Farben des Meeresgrundes und dem darauf lebenden Benthos. In einem Seewasseraquarium, wo es darauf ankommt, auch den flüchtigen Beschauer zu befähigen, alle Tiere rasch zu erkennen und in ihren Bewegungen zu verfolgen; wird für diesen Zweck ein Hintergrund gewählt, auf dem sie sich nach Farbe und Form leicht abheben. So entgeht dem Beobachter unter diesen künstlichen Bedingungen die wesentlichste Eigenschaft des Benthos, die gerade in der täuschenden Ähnlichkeit mit dem Untergrund besteht. Nur wer wochenlang benthonische Tiere gesammelt hat, weiß, wie schwierig, oft geradezu unmöglich es ist, die einzelne Form in der gleichartigen Umgebung zu erkennen.

So sind auch die Füße und anderen Bewegungsorgane des vagilen Benthos nicht so sehr geschickt, um rasch drohenden Feinden zu entgehen, sondern sie bilden Klammern und Haftorgane, um sich am Boden zu befestigen, oder Schaufeln, um sich darin einzugraben.

Man muß bedenken, daß die Augen der niederen Tiere meist unfähig sind, Formen oder Farben zu unterscheiden, aber wohl imstande sind, Bewegungen wahrzunehmen. Das ruhende Tier ist gegen Feinde geschützt.

Nur die Raubtiere heben sich meist durch auffallende Farben von ihrer Umgebung ab. Viele Benthostiere besitzen die Fähigkeit, sich nach vorn, rückwärts und seitlich mit gleicher Geschicklichkeit zu bewegen. Seeigel und Seesterne, Taschenkrebse und Cephalopoden lassen das leicht beobachten.

Bei anderen ist eine Bewegungsrichtung bevorzugt. Es bildet sich dann im Vorderabschnitt ein Kopf mit Sinnesorganen und Freßwerkzeugen und im Gegensatz dazu ein Hinterende mit dem After und der Mündung der Geschlechtsdrüsen aus. So entsteht jene bilaterale Symmetrie, die für das aktivere Benthos bezeichnend ist.

5. Die Grundwelt. Vielfache Übergänge führen von den vagilen zu den sessil festgewachsenen Formen hinüber. Eine Aktinie, Patella oder eine mit dem Byssus verankerte Muschel löst sich vom Untergrund ab, sucht einen neuen Wohnsitz und heftet sich dort wieder fest.

Außer vielen Pflanzen sind fast alle Spongien, Hydroiden, Korallen, Krinoiden, Brachiopoden, Bryozoen und Serpeln festgewachsen.

Hierzu kommen zahlreiche ausgestorbene Gruppen, die nur festgewachsene Vertreter haben, wie die Archaeocyathiden, Protopharetra, Helioporiden, Heliolithiden, Tabulaten, Stromarien und Blastoideen.

Aber auch innerhalb solcher Gruppen, die vorwiegend freibeweglich leben, kommen vereinzelte sessile Gattungen vor. Bei den Foraminiferen begegnet uns die Gattung Carpentaria. Unter den Muscheln sind die meisten Ostreiden, Chamiden und die große Gruppe der Rudisten dauernd auf fester Unterlage angeheftet, während Teredo in Holz, Pholas, Lithoderma und Saxicava sogar in festes Gestein eingebohrt ist. Die letzteren Gattungen gewinnen dadurch eine große geologische Bedeutung. Denn da sie nur in der bewegten Brandungszone leben, ist das Auftreten von Bohrmuschellöchern ein Beweis für Verschiebungen des Meeresspiegels durch Oszillation des Wasserkörpers oder Bewegungen der Küste. Da man einer durch Bohrmuscheln gekennzeichneten Strandlinie aber nicht ansehen kann, durch welche Ursache die Elementengrenze verschoben wurde, bezeichnet man mit E. Suess eine über dem Meeresspiegel beobachtete Strandmarke als negative, eine unter dem Wasser erkennbare als positive Strandverschiebung.

Unter den Brachiopoden ist nur die permische Richthofenia und der Productus amplectus unbeweglich festgewachsen, unter den Schnecken nur der langlebige Vermetus und der silurische Autodetus. Dagegen sind die Capuliden meist in Anpassung an die Mundregion von Seelilien umgeformt, wo sie eine parasitische Lebensweise führen.

Merkwürdigerweise ist keine unter den rezenten Cephalopoden sessil geworden; auch unter den fossilen Schalenformen scheint keine für ein festsitzendes Leben zu sprechen.

Es ist auch kein einziger festsitzender Trilobit bekannt, obwohl manche rezente Dekapoden fast unbeweglich am Meeresgrunde leben und die wunderbarsten Anpassungen an dessen Form und Farbe erkennen lassen. Auch der Stamm der Wirbeltiere zeigt keine sessilen Formen, doch muß man erwägen, daß die Ascidien mit ihnen nahe verwandt sind.

Während das vagile Benthos bei lokalem Nahrungsmangel seinen Standort verlassen kann, ist das sessile Benthos viel ungünstiger gestellt, und so finden wir es hauptsächlich in den bewegten Oberschichten des Meeres, wo ihm Sauerstoff und Nahrung leicht zugetrieben werden oder die Ernährung durch assimilierende, dem Chlorophyll ähnliche Zellen erfolgen kann, die symbiotisch im Gewebe leben.

Leicht entsteht bei dem sessilen Einzelwesen eine radiale Symmetrie, damit jeder Teil der Körperoberfläche bei der Nahrungsaufnahme dem anderen gleichwertig ist. Wir dürfen den radialen Bau der Anthozoen und Echinodermen darauf zurückführen, daß ursprünglich bilateral gebaute Tiere sich dauernd festsetzten. Unter den ältesten Cystoideen finden wir noch eine Anzahl bilateraler Formen, die augenscheinlich vagil lebten. Auch die Kelchstruktur silurischer Korallen (Zaphrentis, Palaeocyclus) zeigt vielfach, wie eine ursprünglich bilaterale Anordnung der Septen in den radialen Typus übergeht.

Die einzige Tiergruppe, die trotz sessiler Lebensweise seit dem Kambrium keine radiale Struktur erworben hat, sind die Brachiopoden. Dagegen kennen wir aus allen anderen Tiergruppen Vertreter, die in Anpassung an die sessile Lebensweise eine auffallende Umbildung ihres Körpers erfahren haben.

Die sessile Lebensweise führt entweder zur Ausbildung großer, radial gebauter Individuen, deren Typus am besten die rezenten Aktinien und die fossilen Tetrakorallen darstellen oder zur Entstehung von Stöcken, bei denen das Einzelwesen klein bleibt, aber durch Teilung und Knospung zu unbegrenzt wachsenden biologisch zusammenhängenden Massen vereint ist. Die sessilen Stöcke geben vielfach Anlaß zur Bildung mächtiger organischer Kalkriffe.

Die Anheftung des sessilen Benthos bedingt eine sehr weitgehende Veränderung des inneren Körperbaues und in der Anordnung der Hartgebilde. Die kalkige Körperwand wird verdickt (Rugosa, Rudisten), horizontale Böden befestigen den Zusammenhang der Gewebe und zahlreiche Stützpfeiler oder Strebebalken verbinden die einzelnen Skelettelemente. Wenn wir also bei Tabulaten, Tetrakorallen, Richthofenia und Rudisten ähnlich gestaltete Hartgebilde finden, so darf man sie nur als Anpassung an eine ähnliche Lebensweise, nicht als Erbstücke gemeinsamer Ahnen betrachten.

Die Landwelt (das Geobios) oder die Lebewelt des Festlandes ist erdgeschichtlich aus dem Hydrobios abzuleiten. Bis zum Devon

fehlen alle sicheren Andeutungen, daß die Lebewelt des Wassers imstande war, im größeren Maßstabe das Festland zu besiedeln. Vereinzelte Skorpione im Obersilur mögen, wenn sie überhaupt Tracheen besaßen, ein amphibisches Leben geführt haben und auch die Eurypteriden haben wohl nur Wanderungen auf den Strand unternommen, wie heute noch ihr letzter Verwandter Limulus.

Das erstmalige und dauernde Auftreten festländischer Pflanzen und Tiere kann durch solche zufällige und vereinzelte Vorgänge nicht erklärt und in seinem ursächlichen Zusammenhang verstanden werden. Denn es handelt sich hierbei um die tiefgreifendste und wichtigste Veränderung, welche die Organismenwelt im Laufe der ganzen Erdgeschichte erfuhr.

Umgeben von einer spezifisch schweren, gleichmäßig erwärmten und an allen Nährstoffen reichen Lösung verläuft der Stoffwechsel des Hydrobios in verhältnismäßig einfacher Weise. Der Gasaustausch erfolgt durch die dünne Epidermis des ganzen Körpers und auch die Nährsalze können hier leicht aufgenommen werden. Schutzmittel gegen Eintrocknung, Stützgewebe um heftiger Luftbewegung Widerstand zu leisten, oder Bewegungsorgane um den Körper in einem leichteren Medium zu tragen und nach den Futterplätzen zu bringen, sind nicht nötig, solange sich das Leben nur im Wasser abspielte.

Man hat vermutet, daß durch den Wechsel von Ebbe und Flut der Übergang des Hydrobios in das Geobios erleichtert und veranlaßt worden sei, aber angesichts der dabei nötigen, tiefgreifenden Umgestaltung aller Lebensvorgänge werden wir uns nach klimatischen Zwangsmitteln umsehen müssen, welche die Lebewelt des Wassers aus ihrer Heimat vertrieb und sie nur vor die Alternative stellte: unterzugehen oder neue Organe und Gewebe zu bilden.

Erdgeschichtlich läßt sich dieser Wendepunkt ungefähr in die Übergangszeit zwischen Devon uud Karbon verlegen. Erst damals traten die Gefäßkryptogamen nebst manchen ausgestorbenen hochstämmigen Pflanzengruppen und mit ihnen die Insekten, Spinnen, Myriapoden und die luftatmenden Wirbeltiere zahlreich auf, und großzügige, erdgeschichtliche Erscheinungen, die in dieselbe Zeit fallen, machen uns diesen Vorgang verständlich:

Das Devon im Norden Europas wird von mächtigen, roten Konglomeraten und Sandsteinen gebildet, in denen man kaum Vertreter der vielen aus marinen Devonschichten bekannten Wassertiere findet. Nur seltsame Panzerfische und einige Süßwassermuscheln treten darin auf. Neben den ersteren sind wohlerhaltene Skelette von Dipterus als ältestem Vertreter der Dipnoi deshalb so wichtig, weil diese neben den Kiemen auch Lungensäcke besitzen und infolgedessen sowohl unter, wie über Wasser atmen können. Das devonische Wüstenland, das sich im

Norden ausdehnte, hinterließ uns diese Faunen in den Ablagerungen vergänglicher Flüsse und Seen, die in großen Dürren eintrockneten. So liegt es nahe, anzunehmen, daß in solchen Zeiten der höchsten Not die in die Seen eingewanderten Fische die Fähigkeit erwarben, mit Hilfe ihrer Darmschleimhaut trockne Luft zu atmen.

Aber eine festländische Fauna setzt auch festländische Nahrungsmittel voraus und die neuentstehenden Landtiere würden bald wieder ausgestorben sein, wenn nicht auch Landpflanzen vorhanden gewesen wären. Auch ihre Entstehung wird uns verständlich, wenn wir die großen geologischen Umgestaltungen jener Zeit biologisch betrachten.

Im Hangenden der marinen Devonschichten, vielfach schon im Mitteldevon beginnend, entstanden in Europa und Nordamerika mächtige Sedimente, in denen nur vereinzelt eine kurzlebige oder verarmte Meeresfauna eingeschaltet ist. Weite Flächen ehemaligen Meeresbodens hoben sich über den Wasserspiegel empor und endlich zogen gewaltige Gebirgsketten durch alle Kontinente; ist doch um dieselbe Zeit sogar der größte Teil von Australien gefaltet worden.

Bei diesem Vorgang wurden zahlreiche küstennahe Becken dem Festland angegliedert und die darin lebende Pflanzenwelt geriet in ausgedehntem Maße in Brackwassergebiete, die sich leicht in litorale Sümpfe verwandelten und völlig abtrockneten. Auch hier sehen wir einen Vorgang im größten Maßstab sich vollziehen, der wohlgeeignet ist, eine ganze Lebewelt untergetauchter Pflanzen und Tiere zu zwingen, sich an das Leben in der trocknen Luft anzupassen.

Von alters her sondert man die Luftwelt in Pflanzen und Tiere, denn die vielen Übergänge zwischen benthonischer, nektonischer und planktonischer Lebensweise, welche die Wasserwelt entstehen läßt, fehlen beim Geobios und so treffen hier psysiologische, bionomische und systematische Eigenschaften zusammen, um eine scharfe Trennung in zwei „Reiche“ zu begünstigen.

Die Pflanzen des Geobios lassen sich am besten mit dem sessilen Benthos des Meeres vergleichen. Aber während dieses nur eine Haftscheibe braucht, um sich zu verankern, und Lufträume im Gewebe, um im Wasser zu flottieren, bedarf die festländische Pflanzenwelt der Wurzeln, um die nötigen Nährsalze aufzunehmen, braucht elastische Stützgewebe, um aufrecht wachsen zu können und den Stürmen zu trotzen, braucht Spaltöffnungen, um zu atmen und Schutzgewebe gegen die Verdunstung in der trocknen Luft. Viele oberdevonische und unterkarbonische Pflanzen, die man bisher vorwiegend morphologisch untersucht hat, werden bei einer biologischen Betrachtung lehrreiche Übergänge und neuerworbene Anpassungen an diese Lebensbedingungen erkennen lassen.

Die Tiere des Geobios mußten neben der Lungen- und Tracheenatmung noch andere neue biologische Einrichtungen erwerben. Statt der

Flossen und Steuerorgane, muskelreiche Tragbeine und Schutzorgane in der Haut gegen die austrocknende Wirkung der Luft; vor allem aber eine physiologisch exakt wirkende Regulierung des Stoffwechsels in einer wechselwarmen, feuchten oder trockenen, ruhenden oder bewegten Umgebung. Auch die Fortpflanzung mußte andere Formen annehmen und viele Amphibien haben bis zum heutigen Tag jene Übergangsstadien in ihrer Ontogenie erhalten.

Die Luftwelt (das Aerobios). Mit dem marinen Nekton können wir auf dem Festland nur die Bewohner der Luft vergleichen, bei denen wie beim Plankton Schwebeeinrichtungen entwickelt wurden. Die Insekten entstanden im Devon und erreichen im Karbon große Dimensionen. Man sieht den Libellen mit ihrem 5 cm breiten Kopf, den riesigen Augen, den gewaltigen Kiefern und den fast meterbreiten Flügeln auf den ersten Blick an, daß sie die unbestrittenen Beherrscher der Luft waren. Die riesige Osmylide Kalligramma Haeckeli von Solnhofen zeigt, daß sogar bis zum Malm noch kein Vogel in der Luft herrschte.

Einen zweiten Versuch zur Fliegbewegung machte der Reptilienstamm während der Jurazeit. Bei Solnhofen treten uns die taubengroßen Pterodaktylus und die etwa geiergroßen Ramphorhynchus entgegen. Die letzten Vertrter dieser Flugsaurier finden wir in der Kreide von Nordamerika; ihre Knochen sind auf dünne, leichte Röhren reduziert, die Beckenregion und die Hinterbeine ganz rudimentär; die Flügel aber erreichen eine Spannweite von 7 m und der Kopf mit seinem Pelikanschnabel und seinem langen Kamm am Hinterhaupt entwickelt ganz abenteuerliche Formen. Angesichts eines so extrem differenzierten Körpers kann man wohl verstehen, daß die ganze Gruppe bald darauf ausstarb.

Auch der älteste Vogel ist uns aus dem Malm erhalten. Sein Knochenskelett würde zweifellos als ein Reptil geschildert worden sein, wenn nicht sein Federkleid so wunderbar erhalten wäre, und so wurde ein Tier, das alle Merkmale einer Übergangsform an sich trägt, als „typischer" Vogel beschrieben. Die weitere Entwicklung der Vögel in der Kreide von Nordamerika zeigt merkwürdigerweise den Typus des flügellosen Tauchvogels und des mit einer kräftigen Brustmuskulatur versehenen Flugvogels viel schärfer getrennt, als man für jene Zeit vermuten sollte.

Auch das Flugvermögen der Fledermäuse tritt uns fertig ausgebildet im unteren Tertiär entgegen und ihre Flügelentwicklung hat seitdem keine weiteren Fortschritte gemacht.

Fragen wir zum Schluß nach der chronologischen Verteilung dieser verschiedenen Formenkreise, so finden wir schon im Kambrium die Wasserwelt des kriechenden und festsitzenden Benthos und echtes Plankton. Erst seit dem Silur treten vereinzelt nektonische Gattungen auf und bis zur Gegenwart begegnet uns die Fähigkeit zum freien

Schwimmen bei Wassertieren ebenso vereinzelt, wie die zum Fliegen bei den seit dem Devon sich verbreitenden festländischen Lebewesen.

Während im Wasser die koloniebildenden Tiere mit den Pflanzen als geologisch wirksamer Faktor wetteifern, haben auf dem Lande nur die gesellig wachsenden Pflanzen eine ähnliche Bedeutung für Verwitterung, Abtragung und Gesteinsbildung gewonnen.

Die Meerestiere sind schon von ihrem ersten Auftreten stratigraphisch wichtig, dagegen übertreffen die festländischen Pflanzen durch ihre Abhängigkeit von der Fazies als chronologisch leitende Formen die leichter beweglichen und weniger erhaltungsfähigen Tiere.

Indem sich die Lebewelt an die verschiedenen klimatischen Umstände anschmiegte und anpaßte, ist es ihr gelungen, immer größere Flächen der Erdkugel am Boden des Wasser- und des Luftmeeres zu erobern. Zunächst traten die Lebensgenossen in belebten Oasen inmitten weiter lebloser Gebiete des Wassergrundes auf, dann entstanden jene unermeßlichen, mit buntem Leben bedeckten Flächen des Meeresbodens und die lebenerfüllten Räume der Hochsee. Ganz ähnlich verlief die Besiedelung des trockenen Landes: zunächst beginnend mit dem brackischen Mündungsgebiet großer Flüsse, dann an ihren Ufern nach dem Innern des Landes vordringend, wurden Sümpfe, Niederungen und Seen bewachsen und endlich das trockene Land und die Atmosphäre erobert.

Die elastischen Gewebe der Pflanzen ebenso wie die Beweglichkeit der Tiere befähigen sie, die Abrasion der Meereswogen wie die Erosion in der dauernden Strömung der Flüsse und die austrocknende und abwehende Wirkung der Stürme zu besiegen. Nur einer geologischen Kraft ist das Leben nicht gewachsen, nämlich der Exaration des fließenden Eises und dem Erstarren des gefrorenen Bodens. Daher dürfen wir erwarten, daß sich auch weiterhin die Biosphäre unabhängig vom Salzgehalt, den Bewegungen des Wassers und vom heißen Wüstenwind weiter entwickeln wird. Nur von dem allmächtigen Eise kann ihr einmal Verderben drohen.

Literatur

Abel, O., Die Lebensweise der altpaläozoischen Fische. Verhandl. d. k. k. zoolog.-botan. Gesellsch. in Wien Jahrg. 1907, S. 157. — Abel, O., Der Anpassungstypus von Metriorhynchus. Centr. f. Min., Geol. u. Paläont. Jahrg. 1907, Nr 8, S. 225. — Abel, O., Bau und Lebensweise der Flugsaurier. Berichte üb. d. Allg. Versamml. v. 6. Nov. 1907. — Abel, O., Die Anpassungsformen der Wirbeltiere an das Meeresleben, 1908. — Branca, W., Fossile Flugtiere und Erwerb des Flugvermögens. Aus d. Abh. d. K. Preuß. Akad. d. Wissensch. vom Jahre 1908. — Brandt, K., Über die biologischen Untersuchungen der Plankton-Expedition. Verhandl. d. Gesellsch. f. Erdk. zu Berlin Bd. XVI, Nr. 10, S. 515. — Chun, C., Über die geographische Verbreitung der pelagisch lebenden Seetiere. Zoolog. Anzeiger Nr. 214, 215, 1886. — Clark, H., Une étude philosophique de la relation entre les crinoides actuels et la température de leur habitat. Bull. de l'Institut Océanographique No. 294, 1914. — Deecke, W., Paläobiologische Studien. Sitzungsb. d. Heidelb. Akad. d. Wissenschaften, Math.-naturw. Klasse, Abteil. B, Jahrg.

1916, 2. Abhandl. — Diener, C., Über die Konstanz einiger Hauptgrenzen der marinen mesozoischen Reiche. Mitteilungen der Geolog. Gesellschaft Wien, V, 1912, S. 13. — Diener, K., Verbreitung und Lebensweise der Ammoniten. Verh. d. k. k. zoolog.-botan. Gesellsch. in Wien Jahrg. 1912, S. 82. — Diener, K., Lebensweise und Verbreitung der Ammoniten. N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont. Jahrg. 1912, Bd. II, S. 67—89. — Döderlein, L., Über die Erwerbung des Flugvermögens bei Wirbeltieren. Zool. Jahrb. XIV, 1900. — Doflein, Das Tier als Glied des Naturganzen. Berlin 1914. — Dollo, L., Les Ancêtres des Mosasauriens, 1903. — Dollo, L., Eochelone Brabantica, Tortue marine nouvelle du Bruxellien (Éocene Moyen) de la Belgique et l'Évolution des Cheloniens marins, 1903. — Dollo, L., Les Mosasauriens de la Belgique. Extrait du Bull. de la Société Belge de Geol. d. Paläont. et d'Hydrologie. Tome XVII, 1904, S. 207. — Dollo, L., Le Pied de l'Amphiproviverra et l'Origine Arboricole des Marsupiaux. Extrait du Bull. de la Société Belge de Geol., do Paläont. et d'Hydrologie. Tome XX, 1906. — Dollo, L., Sur Quelques Points d'Ethologie Paléontologique Relatifs aux Poissons. Extrait du Bull. Société Belge de Geol., de Paläont. et d'Hydrologie. Tome XX, 1906. — Dollo, L., La Paléontologie Ethologique, 1910. Extrait du Bull. de la Société belge de Geol., Paléont. et d'Hydrologie. Tome XXIII, 1909, S. 377. — Dollo, L., Les Céphalopodes adaptés à la Vie Nectique Secondaire et à la Vie Benthique Tertiaire. Zoolog. Jahrb. Supplem. XV, 1. Bd. 1912, S. 105. — Fraas, E., Die Meerkrokodile (Thalattosuchia n. g.) eine neue Sauriergruppe der Juraformation. — Fraas, E., Thalassemys marina E. Fraas aus dem oberen weißen Jura von Schnaitheim nebst Bemerkungen über die Stammesgeschichte der Schildkröten. Jahresh. d. Vereins f. vaterl. Naturk. i. Württemberg Jahrg. 1903, S. 72. — Fraas, E., Reptilien und Säugetiere in ihren Anpassungserscheinungen an das marine Leben. Jahresh. d. Ver. f. vaterl. Naturk. in Württemberg Jahrg. 1905, S. 347. — Grabau, A. W., Physical and faunal Evolution of Northamerica during Ordovicic, Siluric, and early Devonic Time. Reprinted from the Journal of Geol. Vol. XVII, No. 3, 1909, S. 209. — Haeckel, Ernst, Planktonstudien. Vergleichende Untersuchungen über die Bedeutung und Zusammensetzung der pelagischen Fauna und Flora. Jena 1890. — Haeckel, E., Plankton-Composition. Jenaische Zeitschr. f. Naturwissenschaft Bd. XXVII, N. F. XX. 1892. — Handlirsch, H., Die Bedeutung der fossilen Insekten für die Geologie. Mitteil. d. Geol. Gesellsch. in Wien III, 1910, S. 503. — Heim, Arnold, Die Nummuliten- und Flyschbild. der Schweizeralpen. Versuch zu einer Revision der alpinen Eocän-Stratigraphie. Abhandl. d. schweiz. paläont. Gesellsch. Vol. XXXV, 1908. — Henson, Viktor, Über die Bestimmung des Planktons oder des im Meere treibenden Materials an Pflanzen und Tieren. V. Ber. der Kommission zur wissensch. Unters. der deutschen Meere, 1887. — Jaekel, O., Über Plicatocriniden, Hyocrinus und Saccocoma. Deutsch. geol. Zeitschr. Bd. XLIV, Heft 4, 1893, S. 619. — Jaekel, O., Über die verschiedenen Rochentypen. Sitzungsberichte d. Gesellsch naturf. Freunde zu Berlin Jahrg. 1898, Nr. 5, S. 44. — Jaekel, O., Thesen über die Organisation und Lebensweise ausgestorbener Cephalopoden. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Gesellschaft Bd. 54, Jahrg. 1902, S. 67. — Jakowlew, N., Die Anheftung der Brachiopoden als Grundlage der Gattungen und Arten. Mem. d. Comité géol. V. sér. Liv. 48, 1908. — Joubin, L., Les larves et les metamorphoses des animaux marins. Bull. du Musée Océanographique de Monaco No. 58, 1906. — Lampert, Bemerkungen zur Süßwasserfauna Württembergs. Jahresh. d. Vereins f. vaterl. Naturk. in Württemberg 1893, S. CII. — Lindström, G., The Ascoceratidae and the Lituitidae of the upper Silurian Formation of Gotland. Kongl. Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar Bandet 23, Nr. 12, 1890. — Nathansohn, A., Vertikale Wasserbewegung und quantitative Verteilung des Plankton im Meere. Annalen der Hydrogr. u. Maritimen Meteorologie, 1906. — Ortmann, A. E., Grundzüge der marinen Tiergeographie. Jena 1896. — Peck, By. J. I., Observations on the Plankton of Puget Sound. Trans. N. Y. Acad. Sci. Vol. XVI, pp. 378—387, 1898. — Pelseneer, P., L'Origine des Animaux d'Eau Douce. Extrait des Bull. de l'Acad.

royale de Belgique (Classe des sciences) 1905, S. 699. — Pompeckj, J. F., Bemerkungen über das Einrollungsvermögen der Trilobiten. Jahresh. d. Vereins f. vaterl. Naturk. in Württemberg. Stuttgart 1892. — Ruedemann, R., The lower siluric shales of the Mohawk Valley N. York State Educ. Dep 1912, Albany, S. 115. — Rutten, L., On Orbitoids of Sumba. Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam, 1912, S. 461. — Schlesinger, G., Der sagittiforme Anpassungstypus nektonischer Fische. Verhandl. d. k. k. zoolog.-botan. Gesellsch. in Wien Jahrg. 1909, S. 140. — Schlesinger, G., Über undulatorische Bewegung bei Fischen. Verhandl. d. k. k. zoolog.-botan. Gesellschaft in Wien Jahrg. 1911, S. 301. — Schuchert, C., Jackson on the Phylogeny of the Echini. From the American Journal of Science Vol. XXXIV, 1912, S. 251. — Schütt, F., Das Pflanzenleben der Hochsee. Plankton-Expedition Bd. I, Leipzig 1893. — Scupin, H., Welche Ammoniten waren benthonisch, welche Schwimmer? Verh. d. Deutsch. Zoolog. Gesellsch. a. d. 22. Jahresvers. zu Halle 1912, S. 350. — Shaler, By. N. S., On the Geology of the Cambrian District of Bristol County, Massachusetts. Bull. Mus. Comparative Zoology, Harvard College Vol. XVI, No. 2, 1888. — v. Staff, H. und Reck, H., Über die Lebensweise der Trilobiten. Eine entwicklungsmechanische Studie. Sitzungsb. d. Gesellsch. Naturf. Freunde zu Berlin Nr. 2, Jahrg. 1911, S. 130. — v. Staff, H. und Reck, H., Die Lebensweise der Zweischaler des Solnhofer lithographischen Schiefers. Sitzungsb. d. Gesellsch. Naturf. Freunde zu Berlin Nr. 3, Jahrg. 1911, S. 157. — v. Staff, H. und Reck, H., Über die Lebensweise der Trilobiten. Sitzungsber. d. Gesellsch. Naturf. Freunde zu Berlin, Jahrg. 1912. — Stromer, E., Bemerkungen über Protozoen. Zentralbl. f. Min., Geol. u. Paläont. Jahrg. 1906, Nr. 8. — Stromer, E., Über Molukkenkrebse. Monatsb. d. Deutsch. Geolog. Gesellsch. Bd. 59, Jahrg. 1907, Nr. 8/9, S. 187. — Stromer, E., Die Urwale (Archaeoceti). Anatomischer Anzeiger, Zentralbl. f. d. gesamte wissensch. Anatomie, XXXIII. Bd., Nr. 4 u. 5, 1908, S. 81. — Walcott, Ch. D., Fossil Medusae, Monograph. U. S. Geol. Survey 1898, XXX. — Walther, Johannes, Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft: I. Bionomie des Meeres. II. Die Lebensweise der Meerestiere. Jena, Gustav Fischer, 1894. Walther, J., Die Lebensweise fossiler Meerestiere. Z. d. deutsch. geol. Ges. 1897. — Walther, J., Die Fauna der Solnhofener Plattenkalke. Jena 1904, S. 165. — Wiman, C., Eine untersilurische Litoralfazies bei Locknesjön in Jemtland. Bull. of the Geol. Instit. of Upsala, Nr. 8, Vol. IV, Part. 2, 1899, S. 133.

25. Lebensraum und Fundraum

Die Bedeutung des Lebensraums für die Geschicke der Menschheit ist zuerst von F. Ratzel erkannt worden und der Weltkrieg hat die Abhängigkeit ganzer Völker und Rassen von ihm gezeigt.

Er besitzt nicht nur eine gewaltige Kraft für unser eigenes Geschlecht, sondern beherrscht auch die meisten Lebenserscheinungen der Pflanzen und Tiere. Entwicklung und Wachstum, Verbreitung und Wanderung, Blühen und Verderben der Lebewesen wird von der Größe des ihnen verfügbaren Raums bestimmt. Hierbei ist aber seine geographische Dimension nicht das Ausschlaggebende, sondern vielmehr die darin herrschenden äußeren Bedingungen.

Von dem Augenblick, wo ein Einzelwesen selbständig zu leben beginnt, bis zu seinem Tode durchmißt es in Abhängigkeit von den Lebensumständen ein kleines oder größeres Gebiet, innerhalb dessen der zufällige Standort meist nur eine vorübergehende Erscheinung ist.

Ein festsitzendes Tier oder eine Pflanze bewohnt nur einen Punkt der Erdoberfläche, ein bewegliches Tier durchmißt eine vielverschlungene Linie, und die Artgenossen gedeihen nur innerhalb einer wohldefinierbaren Fläche. Die dritte Dimension des Raumes wird uns deutlich, wenn wir die Verteilung einer bestimmten Art in einer Gesteinsmasse verfolgen und beobachten, wie sie innerhalb eines Schichtenstoßes von großer Mächtigkeit unverändert verbreitet ist.

Der Lebensraum einer rezenten oder fossilen Art wird beherrscht von der Verbreitung zahlreicher, für ihr Leben notwendiger Umstände. Die Wassertiefe bestimmt Licht und Temperatur, der Salzgehalt Nahrung und Lebensgenossen, die Bewegung des Wassers Wachstum und Verbreitung. Diese Lebensbedingungen bestimmen aber gleichzeitig die Art und Bildungsweise des dort entstehenden Sedimentes, erzeugen Sand oder Schlamm, Kalk- oder Kieselschichten und stehen in so vielen Wechselbeziehungen mit den Lebenserscheinungen der darauf lebenden Arten, daß dieselben sich auch in der Fazies widerspiegeln. So entsteht eine Parallelität zwischen Fauna und Lockerboden, mit anderen Worten zwischen Fossilgehalt und Gestein, die den sammelnden Geologen immer wieder überrascht, deren wissenschaftliche Bedeutung in unseren Museen aber nicht zum Ausdruck kommt, solange wir nur die aus dem Gestein isolierten Fossilien untersuchen.

Wir nennen alle Fossilien, die am Ort ihres Lebens gestorben sind und deren Reste daselbst eingebettet worden, bodenständig (autochthon) und trennen von ihnen scharf die bodenfremden (allochthonen) Faunen- oder Florenelemente.

Die Vorgänge, welche sich zwischen den Tod und die geologische Einbettung eines organischen Restes nachträglich einschalten, haben wir früher geschildert; sie machen es verständlich, daß der Fundraum eines Fossils nicht immer mit seinem Lebensraum übereinstimmt. Sie bedingen es, daß die meisten fossilen Lebensgenossen aus verschiedenen Elementen gemischt sind, daß manche Arten in dem Fundraum fehlen, andere neu hinzugetreten sind, die in dem Lebensraum einst nicht vorhanden waren. Es gehört ein großes Maß von biologischen und geologischen Kenntnissen dazu, eine gegebene fossile Fauna in dieser Hinsicht richtig zu deuten und zu erklären.

Viele Lebewesen werden bodenständig fossil. Wir rechnen zunächst hierher das sessile marine Benthos, das am harten Meeresgrund oder auf einzelnen verhärteten Stellen (Schwülen, Fremdkörpern, Bimssteinen) festgewachsen ist, und die im Lockerboden eingegrabenen Tiere; dann die sessilen Kalkalgen, aber nicht die Pflanzen, welche ihre Blätter durch Lufträume im Wasser flottierend erhalten.

Obwohl man meinen sollte, daß die beweglichen Bodentiere beliebig weit von ihrem Wohnort wandern könnten, so bleiben auch sie in der

Regel bodenständig. Dasselbe gilt für die Mehrzahl der nektonischen Wirbeltiere, die von einer bestimmten benthonischen oder planktonischen Nahrung abhängig sind, welche ebenfalls nur innerhalb eines bestimmten Lebensraumes reichlich ist; die lokale Verbreitung der Knochenfische in den Küstenmeeren Europas ist allbekannt.

So werden die meisten benthonischen und nektonischen Formen zu Faziesfossilien, welche auf einer bestimmten Art von Sediment leben, mit demselben wandern und infolge des geologischen Fazieswechsels an derselben Stelle der Erdrinde im Hangenden eines andern Gesteins plötzlich wieder auftreten, nachdem eine andere Fazies mit anderm Fossilgehalt dort lange Zeit hindurch vorherrschte.

Damit erklärt sich aber auch die Tatsache, daß die Faziesfossilien meist auch ausgezeichnete Gliederungsfossilien sind, die uns erlauben, ein großes fortlaufendes Profil in Stufen und Glieder zu zerlegen.

Auf dem Festland, wo die thermischen Klimazonen im allgemeinen parallel mit dem Äquator verlaufen, gewinnen die festsitzenden Pflanzen eine besondere erdgeschichtliche Bedeutung. Denn ihre Blätter, besonders wenn sie mit Wurzeln und Früchten zusammen vorkommen, geben uns die Standorte bestimmter Arten in Abhängigkeit von bestimmten klimatischen Umständen an. Wenn wir auch oft nur vereinzelte und weitgetrennte Fundorte kombinieren müssen, so geben sie uns doch eine untrügliche biologische Grundlage für paläoklimatische Betrachtungen.

Die festländische Tierwelt ist hierfür weniger geeignet, nicht etwa weil sie unabhängiger vom Klima wäre, sondern weil wir einem fossilen Skelett, selbst wenn die Zahnreihen erhalten sind, doch nicht ansehen können, von welchen Pflanzen sich die betreffende Art genährt hat.

Je weiter der Fundraum einer Art über ihren Lebensraum hinausgreift, desto mehr wird dieselbe zum Leitfossil geeignet, und so tritt in diesem Zusammenhang erneut die Frage der Verbreitung und Lebensweise leitender Arten an uns heran.

Es ist ein Irrtum, wenn man glaubt, daß die Fähigkeit, gut und weit zu schwimmen, den Fundraum auf Kosten des Lebensraumes so vergrößert, daß die betreffende Art unabhängig von den Fazies als Leitfossil verbreitet sei — das rezente Nekton beweist, daß die meisten Fische und Hochseekrebse eng umschriebene Lebensgebiete bewohnen.

Wenn man unter den heutigen Meerestieren Umschau hält, welche Formen mit erhaltungsfähigen Hartgebilden von einem vielleicht engen Lebensraum kosmopolitisch über einen riesigen Fundraum verteilt werden, so kommt zunächst das echte Plankton in Frage.

Globigerina bulloides ist in fast allen Tiefen und Sedimenten beobachtet worden und dürfte das wichtigste marine Leitfossil der Gegenwart sein. Wir schließen daraus, daß auch die in zahlreichen leitenden

Arten so wichtigen Fusuliniden und Nummulitiden, ähnlich wie Globigerina, durch planktonische Lebensweise ausgezeichnet waren.

Die hohlen, feinen, leicht abfallenden Stacheln vieler Productiden sind ebenfalls deutliche Hinweise für eine planktonische Lebensweise der weit verbreiteten Arten, die nach Art der Velellen in ganzen Schwärmen die permokarbonischen Meere bevölkert haben mögen.

.Zum Plankton gehörten auch die Graptolithen, doch bedarf ihre Verbreitungsweise noch sorgfältiger Untersuchung im Gesteinsverband. Es scheint, als ob die Dendroidea und viele Axonolipa an treibenden Seepflanzen hängend im Wasser trieben, während Diplograptus mit Hilfe einer lufterfüllten Blase schwamm.

Das geeignetste Beispiel für rezente Leitfossilien sind die heutigen Nautilus, Spirula und Sepia, mit anderen Worten alle lebenden Cephalopoden mit erhaltungsfähigen Hartgebilden. Auch wer nicht an einer ozeanischen Küste die kleinen zierlichen Posthörnchen (Spirula) im Strandwall gefunden oder Sepiaschulpe am Schiff vorbeitreiben sah, kann sich durch einen einfachen Versuch jederzeit davon überzeugen, daß die genannten Cephalopoden zum Nekroplankton gehören. Wenn irgendwo, so gilt auf diesem Gebiet der ontologische Grundsatz, daß man aus den rezenten Erscheinungen die Rätsel der Vergangenheit erschließen kann. Jede mit Luftkammern versehene Cephalopodenschale mußte nach dem Tode ihres Bewohners zur Meeresoberfläche emporsteigen. Ob und wie rasch sie wieder herabsank, ehe sie passiv aus ihrem Lebensraum vertrieben wurde, ist eine sekundäre Frage. Wahrscheinlich fielen die meisten Schalen innerhalb ihres Lebensraumes wieder zum Meeresgrund nieder — aber vereinzelte trieben länger herum, gerieten in andere Fazies, andere Lebensbezirke und wurden dadurch zu jenen wichtigen Typen der Leitfossilien, auf denen die ganze Chronologie der Alt- und Mittelzeit beruht.

Auch die Belemnitenstächeln trieben wahrscheinlich so, wie die Sepienschulpe, kürzere oder längere Zeit umher, ehe sie irgendwo strandeten.

Nur auf diesem Wege erklärt sich die seltsame Verbreitung der gekammerten Cephalopoden in den Gesteinen, die nur selten mit ihren einstigen Lebensgenossen gleichmäßig gemischt, oft aus ihrem Lebensraume herausgehoben, nach anderen Gebieten gedriftet wurden, wo sie, wie die alpinen Ptychiten im mitteldeutschen Schaumkalk, mit Crinoiden und kleinen Schnecken zusammen eingebettet wurden, oder als vereinzelter seltener Fund auftreten.

Fast jede fossile Fauna rollt das Problem des Lebensraums vor uns auf, und in den folgenden Abschnitten sollen die Umstände besprochen werden, die dahin führen, daß die meisten Fossillisten aus bodenständigen und bodenfremden Arten gemischt sind.

26. Die Atmung

Während man die Aufnahme und Wiederabgabe fester und flüssiger Nahrung als Stoffwechsel bezeichnet, nennt man den Austausch der Gase in lebenden Organismen: Atmung. Pflanzen wie Tiere können nicht leben, ohne beständig aus dem Wasser oder der Luft Sauerstoff aufzunehmen und innerhalb des Protoplasma zu Kohlensäure zu oxydieren, die wieder ausgeschieden werden muß. Durch die Atmung entstehen Umsetzungen im Körper, bei denen chemische Spannkraft frei wird. Die so gewonnene Lebensenergie kann durch keine andere Kraftquelle ersetzt werden.

Die meisten Tiere sind imstande, eine kürzere oder längere Frist ohne Zufuhr von Nahrung zu leben und die in ihrem Körper aufgespeicherten Reservestoffe zu verbrauchen. Aber eine Sauerstoffspeicherung findet nicht statt, und wie jedes Tier bei Sauerstoffmangel sofort erstickt, so wird auch das Leben der meisten Pflanzen geschädigt, wenn die Möglichkeit der intramolekularen Atmung aufhört.

Bakterien, Pilze und Charagewächse können wohl längere Zeit ohne Sauerstoff leben und manche Bakterienarten sind in ihrem Stoffwechsel vom Sauerstoff ganz unabhängig. Aber diese Anaerobionten sind Spezialisten, die sich an besondere Umstände angepaßt haben und zudem erfolgt diese Umsetzung so wenig ökonomisch, daß man sie als nachträglich erworben betrachten darf.

Die Atmung als eine chemische Oxydation ist stets mit Wärmeentwicklung verknüpft und bedingt die Eigenwärme besonders bei den höheren Tieren.

Bei den niederen Wasserorganismen finden wir meist die Fähigkeit, den im Wasser gelösten Sauerstoff durch die ganze Körperoberfläche aufzunehmen. Je kleiner ein Wesen ist, desto größer ist verhältnismäßig seine Körperoberfläche, während ein aus massigen Organen aufgebauter Organismus eine große Masse mit kleiner Oberfläche besitzt. Daher ist es wohlverständlich, daß wir nur bei den letzteren besondere Atmungsorgane finden.

Verästelte Anhänge des Körpers werden zu Kiemen, deren zerschlitzte Gestalt eine große Oberfläche erzeugt, während die von innen herantretenden Blutgefäße den Austausch der Gase erleichtern. Sie spielen nicht nur im Weichkörper der Meerestiere eine große Rolle, sondern prägen ihre Lage und Anordnung auch den Hartgebilden auf, so daß viele systematische Merkmale und sogar die Unterscheidung vieler größerer Gruppen auf dem Kiemenbau beruht.

Die Palliobranchia oder Brachiopoden müßten richtiger Branchiopoda heißen, die Lamellibranchiaten (Muscheln) werden in Asiphonata und Siphonata zerlegt, bei den Schnecken unterscheidet man Proso-

branchia, Cyclobranchia, Aspidobranchia, Ctenobranchia, Opistobranchia und Palmonata, bei den Cephalopoden die Dibranchiata und Tetrabranchiata, bei den Fischen die Elasmobranchia, Lophobranchia und Dipnoi.

Der Bau und die Lage der Atmungsorgane ist sehr verschiedenartig.

Bei den Anthozoen scheinen die Tentakel der Mundscheibe auch der Atmung zu dienen.

Die Echinodermen mit ihrer kalkgepanzerten Haut nehmen sauerstoffhaltiges Wasser durch das Wassergefäßsystem in den Körper auf; bei den Holothurien sind besondere „Wasserlungen" ausgebildet und viele Echiniden besitzen Kiemenbüschel, welche fünf oder zehn deutliche Einschnitte am Peristom hinterlassen. Bei den Cystoideen scheint die Atmung in der Ambulacralrinne, bei den Seelilien an den Pinnulae lokalisiert zu sein; aber die verkalkten Hydrospiren der Blastoideen können nicht der Atmung gedient haben.

Die Muscheln bilden zwei Reihen blutreicher Fäden beiderseits zwischen Mantel und Körper aus, die zu vier Kiemenblättern verwachsen und deren Ränder sich zu einem Rohr schließen können, das nur ein vorderes Loch für den Fuß und zwei zu Röhren ausgezogene Öffnungen für das Ein- und Ausströmen des Atemwassers offen lassen. Diese „Siphonen" können so lang werden, daß sie der Muschel erlauben, 20—50 cm unter der Oberfläche des Meeresgrundes im Sediment verborgen zu leben.

Zahlreiche Würmer, deren Hautkiemen oft vielverästelte buntgefärbte Gebilde sind, leben ebenfalls im Sand vergraben und strecken ihre Kiemen nur hervor, wenn sie ungestört sind.

Die Atmung der Brachiopoden erfolgt im Mantel.

Bei den Krustazeen sind die Kiemen meist an die Füße angeheftet, werden mit diesen bewegt und dadurch reichlich mit Sauerstoff versorgt.

Bei einigen Trilobiten hat Walcott im Dünnschliff zarte Spiralfäden nachgewiesen, die er mit Recht als Kiemen deutet; bei den Xiphosuren sind am Abdomen blattförmige Kiemen vorhanden, die dem rezenten Limulus weite Wanderungen aufs trockene Land erlauben; der Kiemenapparat der Gigantostraca ist unbekannt und auch die Atmungsorgane vieler altzeitlicher Fische bedürfen noch genauerer Prüfung.

Die Kiemen der Fische sind Umbildungen der äußeren Haut, die in die Kiemenlöcher und Spalten hineinreichen und oft von einem verknöcherten Kiemendeckel geschützt werden. Bei den pelagischen Knochenfischen gewinnt der Kiemenapparat als Planktonfilter eine besondere Bedeutung.

Welche Bedeutung die Kiemen für die Organisation der Wirbeltiere besitzen, geht am besten daraus hervor, daß die Kiemenspalten und Kiemenbögen durch die ganze Reihe der höheren Wirbeltiere, selbst

wenn sie sich von der Wasseratmung frei gemacht haben, doch erhalten bleiben. Sie stützen entweder die Anlagen der Extremitäten (Archipterygium) oder werden als Zungenbein und Gehörknochen anderen Leistungen dienstbar gemacht.

Der Sauerstoffgehalt des Wassers wird durch den Wellenschlag aus der Atmosphäre und durch die Assimilation autotropher Pflanzen und Tiere vermehrt und erreicht in der diaphanen Region der Flachsee und Hochsee hohe Werte. Infolgedessen ist hier das organische Leben am reichsten entfaltet.

Mit zunehmender Wassertiefe verschwinden aber die autotrophen Wesen und die heterotrophen, Sauerstoff verbrauchenden Tiere nehmen immer mehr zu. Das Tiefenwasser wird kaum von Wind und Wellenschlag bewegt und der Gasaustausch nimmt ab. Je ruhiger und tiefer daher ein Meeresbucht ist, desto ungünstiger ist sie für organisches Leben. Wenn zugleich am Meeresboden zahlreiche Leichen von Pflanzen und Tieren vermodern und Fäulnisgase bilden, dann entstehen leblose Wüsten inmitten des sonst reich besiedelten Ozeans. Solche „Halistasen“, an deren Grunde ein feiner, an organischem Moder und Schwefeleisen reicher, geschichteter oder ungeschichteter Schlamm entsteht, sind lebensfeindlich und verhindern das Gedeihen einer Bodenwelt, bilden aber ein Grab für die wunderbare Erhaltung der bodenfremden, planktonischen oder nektonischen Bewohner anderer Lebensbezirke. Viele bekannte fossilreiche Fundorte in dunklen Schiefern und Tonen beruhen auf diesen Umständen.

Sobald lokal eine Halistase entsteht (und je buchtenreicher und flacher ein Meeresbecken ist, desto leichter bilden sich solche ruhige Stellen), wird sofort die Wasserzirkulation unterbrochen, feiner Schlamm oder windgetragener Staub bedeckt den Grund, das vorher reiche Bodenleben stirbt ab, und nur genügsame Schlammfresser vermögen sich noch zu vermehren. Würmer und Ophiuriden gedeihen gerade auf solchen Gebieten, und ihre Zahl kann so groß werden, daß die sich mit den Armen verschränkenden Schlangensterne wie ein grobmaschiges Netz den Schlammboden überziehen. Auch manche genügsame Brachiopoden siedeln sich hier an und räuberische Krebse (Squilla, vielleicht auch manche Trilobiten) schleichen gespenstisch über den dunklen Boden. Nur die passive Drift nekroplanktonischer oder pseudoplanktonischer Reste wird darüber ausgestreut und wenn sich einmal eine Schar nektonischer Räuber hierher verirrt, dann wühlen sie durch ihre lebhaften Bewegungen (Ganoiden, Ichthyosaurier) das schwefelwasserstoffreiche Sediment auf und werden selbst dadurch vergiftet.

Ich habe wiederholt an meinen durch beständig durchströmendes Wasser durchlüfteten Aquarien den Wasserstrom abgestellt und das Verhalten der dem Atmungstod verfallenen Tiere verfolgt. Schon nach

wenigen Stunden kriechen die vagilen Bodenbewohner aus ihren Verstecken heraus, die im Sand vergrabenen Tiere kommen zur Oberfläche, eins nach dem andern stirbt, Fäulnisgase und schwarzer Schleim durchsetzt und überzieht das Sediment und nach einigen Tagen sieht man ein Leichenfeld zerfallender Reste auf dem dunklen Sediment.

Wenn man auch jetzt frisches Seewasser einleitet, so ist doch die ganze Lebewelt vernichtet und der Lebensraum muß neubesiedelt werden, damit sich darüber wieder eine fossilreiche Schicht bilden kann.

Unvergleichlich reicher an freiem Sauerstoff ist die Atmosphäre, und man sollte daher glauben, daß im Laufe der Erdgeschichte immer wieder ganze Gruppen von marinen Pflanzen und Tieren durch Auswandern auf das Festland die hier so reichen Sauerstoffmengen gesucht und durch den Erwerb besonderer Organe sich für die Aufnahme von trockenem Sauerstoff befähigt hätten.

Aber schon ein Blick auf die heutige Lebewelt zeigt uns, daß nur vereinzelte Vertreter von Wassertieren diesen Schritt gewagt haben. Die kurzschwänzigen Krabben leben im Litoralgebiet und können auf dem flachen, bei Ebbe trocken gelegten Strand scharenweise ohne Wasser gedeihen, weil sie ihre Kiemen vor dem Austrocknen zu schützen vermögen; die Palmenkrabbe erklettert sogar Bäume. Die Fährten kambrischer Trilobiten sprechen für ähnliche Wanderungen auf den Strand.

So gibt es auch einzelne Fische, die weit ins Land wandern, obwohl alle diese Tiere ins Wasser zurückkehren müssen, wenn sie laichen.

Aber aus der Gruppe der Cölenteraten, Echinodermen, Bryozoen, Brachiopoden, Muscheln und Cephalopoden ist niemals ein ähnlicher Versuch gemacht worden. Zur Erklärung dieser auffallenden Tatsache müssen wir darauf hinweisen, daß die Luftatmung mit einer Reihe von anderen Umständen untrennbar verknüpft ist, die den Vorteil der größeren Sauerstoffmenge beeinträchtigt. Das geringere spezifische Gewicht des Mediums verlangt leistungsfähigere Stütz- und Bewegungsorgane, die Trockenheit der Atmosphäre bedingt besondere Hautbedeckungen und die Fortpflanzung bedarf langandauernden Schutz der Eier und Jugendformen.

Es ist daher wohl verständlich, daß dieser wichtige Schritt von der Wasseratmung zur Luftatmung nur unter ganz besonderen Umständen erfolgen konnte.

Wenn wir die Geschichte des Lebens auf der Erde prüfen, so sehen wir, daß dieser grundlegende Schritt nur ein einziges Mal mit Erfolg unternommen wurde und zwar an der Wende der Devon- und Karbonperiode.

Daß die Flora hierbei vorangehen mußte, ist selbstverständlich, denn auf den pflanzenleeren Flächen der alten Urwüsten fand die Tierwelt keine Nahrung. Ebenso klar aber ist es, daß die Pforten für diese

erdgeschichtliche Einwanderung in den mit Brackwasser gefüllten Mündungsgebieten großer Flüsse zu erblicken sind. Denn die das Festland erobernde Lebewelt mußte zunächst ihre Gewebe an den Mangel der Salze gewöhnen, die das Seewasser so reichlich enthält, und erst nachdem der eine Schritt erfolgreich getan war, konnte der andere, viel schwerere Funktionswechsel erfolgen.

Man pflegt die Organisation der karbonischen Pflanzen nur darauf hin zu betrachten, daß man in ihnen Sumpfpflanzen sieht, deren Wurzelteil zwar noch von Wasser umgeben ist, während ihr eigentlicher Körper über dessen Spiegel herausragt. Aber wir kommen nur dann zu einem richtigen Verständnis dieser Flora, wenn wir in ihr Meerespflanzen sehen, die, auf der Wanderung in die Atmosphäre begriffen, zunächst nur mit ihren Fortpflanzungsorganen und dann erst mit ihrem Ast- und Blattwerk das Wasser verlassen. Die zerschlitzten Blätter der devonischen Farne, die Blattwirtel von Pseudobornia, Sphenophyllum und Calamites sprechen für ein Leben im Wasser und selbst die Farnblätter waren auf dem Wasser ausgebreitet. Wiederholt hat man darauf kleine spiralige Kalkschälchen (Palaeorbis) beobachtet, die man auch auf den Schalen von Meerestieren (Spirorbis) findet. Sie können nur unter Wasser gewachsen sein, und da man an ähnlich gebauten rezenten Kalkröhren feststellt, daß zur Entstehung zweier Windungen etwa 6—8 Wochen nötig sind, so ergibt sich daraus unabweisbar der Schluß, daß die betreffenden Farnblätter ebenso lange unter dem Meeresspiegel lebten. Da sie nun keine Spur von Verwesung oder Mazeration zeigen, läßt sich die Ansicht nicht von der Hand weisen, daß diese Farnblattgewächse unter Wasser wuchsen.

Die stark entwickelten Wurzelschöpfe, der markreiche Stamm, die Stigmarien und der Mangel eines rhythmischen Dickenwachstums werden uns ebenfalls leichter verständlich, wenn wir die karbonische Flora als eine Lebensgenossenschaft betrachten, die im Begriff stand, vom Meere durch die Flußmündungen und Aestuarien auf das Festland zu wandern. Diese Wanderung mußte schon während der Devonzeit so weit gediehen sein, daß Tiere auf dem Festland, am Ufer der Flüsse und Seen ergiebige Nahrung fanden. Denn schon aus dem nordamerikanischen Devon kennt man die Fährte eines vierfüßigen Landtieres.

Die Umstände, unter denen ganze Pflanzen- und Tiergenossenschaften den schweren Schritt von der Wasseratmung zur Luftatmung unternahmen, werden uns verständlich, wenn wir das nordische Oldred betrachten: Wir sehen mächtige Sandsteine von meist roter Farbe schon seit dem Obersilur und bis in die Karbonzeit große Becken in einer Mächtigkeit von 3—5000 m erfüllen. Trotz gewaltiger Regengüsse muß das Gebiet der kaledonischen Gebirgsketten immer wieder abflußlos gewesen sein, und so stand es unter sehr wechselnden hydrographischen

Umständen. Bald mündeten breite Wasserfluten in das südliche Meer und schoben ihre gewaltigen Sandfächer bis nach dem Taunus und den Ardennen. Bald versiegten die Flüsse und große Seen waren von jeder Verbindung mit dem Weltmeer abgeschnitten.

Schilfartige Gewächse, Schachtelhalme, Farne und Sigillarien bildeten niedrige Bestände, daneben scheinen die meterhohen Stämmchen von Psilophyton mit kurzen pfriemenartigen Blättern an das trockene Wüstenklima gut angepaßt gewesen zu sein. Von den zahllosen Tabulaten, Korallen, Trilobiten, Brachiopoden, Mollusken und Echinodermen, die in den gleichzeitigen Meeresablagerungen reiche Faunen bilden, ist kein einziger Vertreter in die Flüsse und Seen des alten roten Nordlandes eingedrungen. Nur einige Süßwassermuscheln und wenige Schnecken sowie ein reiches Insektenleben und riesige Merostomata finden wir darin verbreitet.

Unter den Fischen, welche oft in großer Individuenzahl, aber meist in einer einzigen Art gefunden werden, fallen uns zunächst die kleinen Acanthoden auf, die ja auch noch in den Seen des permischen Festlandes leben. Ihre durch keinen Kiemendeckel geschützten Kiemen deuten auf ganz besondere Lebensverhältnisse.

Daneben treten uns die riesigen Panzerfische entgegen, deren Gliedmaßen und zahnlosen Kiefer ebenfalls zu denken geben. Aber am wichtigsten erscheint uns die Häufigkeit von Dipterus und Ctenodus, deren Zähne so große Übereinstimmung mit der Zahnform des heute lebenden Ceratodus zeigen, daß wir in ihnen die ältesten Dipnoer erblicken dürfen. Die Lebensweise des heutigen Ceratodus in den Flüssen von Queensland eröffnet uns wichtige Einblicke in das Klima des alten roten Nordlandes. Er lebt in einem Klima, das durch den Wechsel langjähriger Dürren und plötzlicher riesiger Niederschläge ausgezeichnet ist Dann füllen sich die trocknen Flußrinnen 15 m hoch mit schlammigem Wasser, das seine Deltas weit hinaus zwischen die Korallenriffe schiebt. Die Dürre aber verwandelt solche Flüsse dann wieder in eine Kette sumpfiger Tümpel, in denen sich die Fauna zusammendrängt und zum größten Teil stirbt. Nur Ceratodus überdauert die gefährliche Trockenzeit, weil er neben seinen Kiemen auch Lungen besitzt, die ihn befähigen, trockene Luft zu veratmen.

Man hat geglaubt, daß der Mond die Ursache davon sei, daß die Meerestiere einmal das Festland besiedelt hätten, weil der regelmäßige Rhythmus von Ebbe und Flut leicht Wassertiere in Landtiere verwandeln könne. Aber gerade auf dem Ebbestrand können wir leicht beobachten, daß zwar Patella und Chiton, Balanus und Litorina, auf Felsengrund festgeheftet, die mehrstündige Trockenlegung überdauern. Sogar Riffkorallen schützen sich durch Ausscheiden von Schleim, wenn sie bei tiefer Ebbe freiliegen. Aber die Wiederkehr der Flut und die Nähe des

Meeres erleichtert es immer wieder den Organismen desselben, die salzige Heimat zu erreichen. Was sich zu weit gegen das Land vorgewagt hat, geht zugrunde und häuft sich im Strandwall an, aber die allgemeinen bionomischen Zwangsmittel, welche mit unwiderstehlicher Gewalt eine Fauna zwingen können, auf die Wasseratmung zu verzichten, fehlen im Litoralgebiet.

Die Bedingungen, welche diesen wichtigsten Übergang und die tiefgreifendsten Veränderungen im Stoffwechsel der Pflanzen und Tiere hervorrufen, mußten regional verbreitet sein, mit zwingender Gewalt das Leben der wasseratmenden Tiere bedrohen und wiederholt in derselben Weise auftreten, um günstigen Zufällen zäher Lebensdauer und wiederholter tiefgreifender Auslese zu ihrem Rechte zu verhelfen.

Weder im Gebiet der Ebbezone noch im Laufe eines zum Meere abfließenden Stromsystems kann ein Wassertier genötigt werden, sein Lebenselement zu vertauschen und neben den Kiemen auch Lungen zu bilden. Wenn aber die Flüsse eines Wüstenlandes, die vorübergehend nach dem Meere offene Pforten bildeten, unter dem Einfluß großer Dürren nicht mehr das Meer erreichen und ihre Schaltseen sich in schrumpfende Endseen verwandeln, dann treten den kühnen Einwanderern, welche das neue Land besiedelt hatten und sich ohne Feinde leicht vermehren konnten, gewaltige Naturkräfte entgegen. Die schwindende Menge des Wassers, sein zunehmender Schlamm- und Salzgehalt, die Zergliederung großer Wasserflächen in einzelne Seen mußte verderblich werden für ganze Lebensgenossenschaften, und so sehen wir im Museum zu Edinburg riesige Sandsteinplatten mit zahlreichen großen Fischen einer einzigen Art bedeckt, und selbst der kleine, anatomisch so interessante Paläospondylus ist nur bei Achanaras in einer eingetrockneten Schlammschicht gefunden worden.

So erscheint uns das Wüstenklima mit seinen biologischen Begleiterscheinungen als die eigentliche Ursache für die Entstehung luftatmender Wirbeltiere. Nachdem die Schleimhaut des Vorderdarmes sich daran gewöhnt hatte, den Sauerstoff verschluckter Luft aufzunehmen, bildete sich leicht die Ausstülpung der Lunge aus; die Kiemen verloren ihre Bedeutung, die Kiemenbogen wurden anderen Aufgaben angepaßt und die einmal entstandene Eigenschaft vererbte sich seither mit zäher Beharrlichkeit bis zu den höchsten Zweigen des Wirbeltierstammes.

Es ist besonders interessant, daß die im Laufe der späteren Entwicklung wieder ins Meer zurückwandernden Wirbeltiere die Lungenatmung nicht wieder eingebüßt haben.

Da sehr viele Insekten bis zum heutigen Tage ihr Larvenleben im Süßwasser beenden und die meisten derselben in ihrer Lebensweise von der Flora abhängig sind, erscheint es sehr wahrscheinlich, daß die Insekten zusammen mit der devonischen Pflanzenwelt aus dem Süßwasser

in die Atmosphäre emporstiegen. Hier fanden sie noch keinen Feind, und so konnten sie sich zu jenen phantastischen und riesigen Formen entwickeln, die uns zeigen, daß sie die unbestrittenen Beherrscher der Luft waren. Ihre gewaltigen Kieferzähne lassen sie als räuberische Fischfresser erscheinen. Besonders lehrreich ist es, daß das Flügelgeäder mancher karbonischer Insekten an die Blattnervatur von Farnblättchen erinnert, so daß man hier uralte Mimkri zu erblicken glaubt.

Da auch die Pulmonaten seit dem Karbon bekannt sind, scheint auch diese Gruppe unter ähnlichen Umständen damals die Luftatmung erworben zu haben.

Es ist vom Standpunkt der allgemeinen Entwicklungsgeschichte überaus lehrreich, daß die amphibische Fähigkeit, im Wasser ebenso wie in der Luft zu atmen, von den ersten Besitzern dieser so ungemein wichtigen Leistung bis zum heutigen Tage vererbt worden ist. Der rezente Ceratodus unterscheidet sich kaum von seinen triadischen Vorfahren. Auch die Amphibien haben wenigstens ontogenetisch die Doppelatmung erhalten und müssen schon aus diesem Grunde als die eigentliche Stammform aller höheren Wirbeltiere betrachtet werden.

So wichtig die Atmung für die Erklärung vieler paläontologischer und geologischer Tatsachen ist, so darf man aber doch nicht vergessen, daß sie nur eine der vielen Funktionen der Organismen ist und daß deren Verbreitung daneben auch durch die Temperatur, den Salzgehalt des Wassers und die Gliederung des Festlandes geregelt wird.

In ganz einseitiger Weise hat man bisher alle paläogeographischen Darstellungen auf der Art der Atmung begründet. Man betrachtet alle Gesteine, in denen kiemenatmende Tiere gefunden werden, als „Meeresgrund" und bezeichnet alle dazwischen liegenden Flächen mit luftatmenden Fossilien oder ohne fossilführende Ablagerungen als „Kontinente". So entstanden Karten, die man höchstens als „Atmungskarten" bezeichnen könnte, die aber als Grundlage weiterer erdgeschichtlicher Betrachtungen völlig unzureichend sind.

Literatur

Barrois, Sur les Spirorbes du terrain houillier. Ann. d. l. Soc. géol. du Nord, Lille 1904, XXXIII, S. 50. — Bergmann und Leuckart, Vergleichende Anatomie und Physiologie, 1855, S. 219. — Dollo, Phylogeni des Dipneustes. Bull. Soc. belg. de Géologie, Bruxelles 1895, IX, S. 79. — Harms, Respirationsorgane in Handwörterbuch der Naturw., Jena 1912, Bd. VIII, S. 387. — Reis, O., Über Palaeorbis. Geogr. Jahreshefte 1903, S. 125. — Simroth, Über die geol. u. geogr. Verbr. d. Pulmonaten. Diss. Leipzig. — v. Stromer, Über das Gebiß der Lepidosireniden. Festschrift R. Hertwig 1910, II.

27. Die Ernährung

Da der Stoffwechsel der Pflanzen und Tiere ununterbrochen organische Substanzen zerlegt und zerstört, muß dieser Mangel durch Aufnahme von Nahrung ausgeglichen werden. Aber im Gegensatz zur

Atmung kann die Ernährung unterbrochen werden und kürzere oder längere Fastenperioden werden ohne Schaden ertragen.

Die meisten Tiere sind sogar an einen unperiodischen oder regelmäßig wiederkehrenden Nahrungsmangel angepaßt und besitzen Einrichtungen, um die in größerer Menge vorhandene Nahrung in ihrem Körper aufzuspeichern. Neben den als Kropf und Vormagen bekannten Stellen spielen ganze Körperteile eine große Rolle, um Reservestoffe in den Geweben für die Zeit des Nahrungsmangels anzureichern.

Die für die Organismen nötige Nahrung ist so verschiedenartig und in so wechselnder Menge vorhanden, daß sie überaus mannigfaltige Einrichtungen zu ihrer Aufnahme erworben haben.

Die primitivste Form der Nahrungsaufnahme zeigen die autotrophen Pflanzen und festsitzenden Tiere, die ihre Gewebe aus anorganischen Verbindungen aufbauen. Der wichtige Vorgang der Kohlensäureassimilation schafft die Grundlage und den Ausgangspunkt für alles organische Leben und bildet auch im Meere die Urnahrung. Aber da dieser Vorgang nur im Sonnenlicht erfolgt, so wird das Meer in zwei ungleich große Gebiete zerlegt. Nur in der durchleuchteten Oberzone der Hochsee und dem flachen Wasser der Flachsee ist Pflanzenleben möglich und kann Urnahrung gebildet werden.

Alle Lebensbezirke, in denen kein assimilierendes Pflanzenleben möglich ist, besonders die gesamte Tiefenregion des Wassers unter der Assimilationsgrenze, können sich daher nicht selbst ernähren und sind, ähnlich wie ein Industriestaat von der Landwirtschaft, von den pflanzenreichen Oberschichten abhängig.

Aber auch auf dem Lande wird alle Nahrung durch assimilierende Pflanzen gebildet und so darf man jeden Tierkörper und jedes Fossil als ein Umwandlungsprodukt pflanzlicher Zellen betrachten, selbst wenn keine geformten Pflanzengewebe in der betreffenden Ablagerung erhalten sind. Alle bituminosen Trümmergesteine und alle aschenarmen Kohlen sind im Grunde genommen nur die im Überschuß gebildete und daher nicht gefressene Pflanzensubstanz der Vorzeit und bilden nur einen kleinen Teil der Pflanzengewebe, die in Tierleiber verwandelt wurden.

Jede erdgeschichtliche Besiedelung von Neuland, jede Wanderung, jede Transgression einer Fauna ist mithin von der Flora abhängig, und wie die Tiefsee nur aus der Flachsee besiedelt werden konnte, so muß auf jeder neu entstehenden vulkanischen Insel, jedem auftauchenden Korallenarchipel und jeder durch Regression freigelegten Landfläche zuerst eine Flora einwandern, bevor eine Fauna auftreten kann.

Manche Meerespflanzen besitzen so zähe Gewebe, daß sie für die Ernährung von Tieren kaum in Frage kommen. Auch die in allen Meeren lebenden Rotalgen sind vielfach durch Kalkablagerungen gegen

Tierfraß so geschützt, daß man nur selten an ihnen Fraßspuren bemerkt. Um so wichtiger sind die grünen zarten Algen, die entweder im Wasser der Hochsee schwebend oder am Boden der Flachsee festgewachsen, oft auch frei umherliegend, zahllose Pflanzenfresser und mit ihnen die karnivoren Tiere ernähren. Zur Aufnahme der oft mikroskopisch kleinen, aber in ungeheuren Schwärmen das Wasser grünlich oder gelblich färbenden Algen haben die Meerestiere sehr verschiedenartige Einrichtungen, die im wesentlichen darauf beruhen, daß eine mit zarten Flimmerhaaren bedeckte Haut das nahrungsreiche Wasser nach dem Munde führt, der den Nahrungsbrei ohne besondere Kauwerkzeuge aufnimmt. Von dem Kanalsystem der Spongien, dem Wassergefäßsystem der Echinodermen, den Armen der Brachiopoden, dem Atemsiphon der Muscheln, bis zur Reuse im Kiemenkorb der Fische und den Barten des Wals herrscht diese Form der planktophagen Nahrungsaufnahme.

Ein Tier, das seine Nahrung an bestimmten Standorten suchen muß, bedarf eines mit Sinnesorganen versehenen Kopfes und Werkzeuge zum Ergreifen und Zerkleinern. Daher besitzen die Schnecken und Cephalopoden ebenso wie die gegliederten Würmer, Arthropoden und Wirbeltiere meist besondere Organe für die Nahrungsaufnahme, die sie befähigen, weiche Pflanzen zu zerreiben, harte Schaltierpanzer anzubohren oder zu zerknacken, fleischige Gewebe zu zerreißen und selbst die flüchtige Beute zu erreichen. Niedere Tiere gewinnen vielfach ihre Nahrung ohne besondere Organe.

Die Spongien nehmen durch feine Poren Seewasser auf und filtrieren alle gröberen und nicht assimilierbaren Schwebeteile ab. Kleine faulende Gewebefetzen dringen in den Schwammkörper ein und werden von den Kragenzellen in den Kammern absorbiert. Die unlöslichen Reste werden durch die Bewegung der mit Geiseln besetzten Innenhaut des Kanalsystems weiter befördert und durch die Oscula ausgeschieden.

Unter den Anthozoa bieten die Aktinien ein interessantes Beispiel räuberischer Lebensweise. Schnecken, Muscheln, Krebse und Fische werden mit den Tentakeln ergriffen, durch deren giftige Nesselzellen betäubt, in den Magenhohlraum aufgenommen und durch die Mesenterialfilamente fast restlos verdaut. Die großen Einzelpersonen der altzeitlichen Korallen mögen sich ähnlich ernährt haben.

Viele Meerestiere haben das mit den Pflanzen gemeinsam, daß sie in ihren Geweben assimilierende gelbe oder grüne Zellen enthalten, die sie befähigen, aus dem umgebenden Seewasser direkt organische Stoffe zu bilden. Es gehören hierzu besonders die Foraminiferen und Radiolarien, Anthozoen, Echinodermen, Bryozoen und Würmer; aber auch im Gewebe von Krebsen und Muscheln sind solche Zellen nachgewiesen. Diese Tiere sind also imstande, sich in der diaphanen Region auch bei Mangel an geformter Nahrung zu ernähren.

Die vielumstrittene Frage, ob diese gefärbten Zooxanthellen und Zoochlorellen selbständige einzellige Pflanzen sind, die nur in biologischer Symbiose mit den Tieren leben, oder ob sie wie die Chlorophyllkörper der Pflanzen ein notwendiger Bestandteil derselben sind, hat für unsere Betrachtungen nur untergeordnetes Interesse.

Bei einem Aufenthalt in Java nahm ich Gelegenheit, auf den Korallenriffen in der Bucht von Batavia die Frage der Assimilation bei Riffkorallen zu prüfen und es gelang Herrn Dr. von Faber, Chlorophyll in frisch konservierten Riffkorallen spektroskopisch nachzuweisen.

Es scheint also nicht nur die Wärme der tropischen Meere die weite Verbreitung der Riffkorallen zu bedingen, sondern die größere Menge von Sonnenlicht, die hier das Wasser durchflutet. Wenn wir im Roten Meer schon bei etwa 20 m Tiefe die letzten lebenden Korallen beobachten, während solche im äquatorialen Meer noch in 50 m Tiefe erbeutet werden, so hängt dies augenscheinlich mit der größeren Durchleuchtung in der Äquatorialzone zusammen. Nicht die niedere Temperatur, sondern die Lichtarmut ist es, die das Gedeihen der Riffkorallen in höheren Breiten hindert; daß daneben die Bildung des Packeises und die beim Schmelzen desselben entstehenden salzarmen Gewässer eine begleitende Rolle spielen, ist selbstverständlich.

Die Echinodermen nähren sich auf sehr verschiedene Weise, doch scheint die Nahrung endlich durch die in allen Organen und Flüssigkeiten vorhandenen amöboiden Wanderzellen aufgenommen zu werden. Die Holothurien füllen meist ihren Darmkanal mit dem Sand oder Schlamm des Meeresgrundes und lösen die darin befindlichen Nahrungsbestandteile auf. Die Skelette von Diatomeen findet man massenhaft im Darm von Tiefseeholothurien; die Schalen von Foraminiferen sammelt man leicht, indem man Seichtwasserformen öffnet. Der N-Gehalt solcher Sande ist achtmal größer als der des umgebenden Sediments.

Im Magen von Crinoiden finden sich schwebende Algen.

Die Asteriden und Echiniden ergreifen selbst große Schnecken, Muscheln, Krebse oder Fische mit Hilfe ihrer Pedicellarien und Saugfüße, befördern sie bis zum Munde, stülpen den Magen über die Beute und verdauen sie rasch. Kleine Muscheln werden ganz verschluckt, größere Schalen aber außerhalb des Körpers gelöst.

Ein mittelgroßer Asterias glacialis verdaute eine Ostrea in vier Stunden, ein Asterias rubens vermochte eine 7 cm lange Venus in $8^1/_2$ Stunden aufzulösen.

Sogar rasch bewegliche Fische werden von Seesternen gefangen und aufgefressen.

Bei den Seeigeln helfen auch die Stacheln mit, die Beute zum Munde zu führen.

Die Nahrung der Ophiuriden dürfte, ihrer so mannigfaltigen Körperform entsprechend, sehr verschiedenartig sein — Untersuchungen ihres Darminhalts werden hierüber Aufschluß geben.

Die Muscheln nähren sich, da sie keine Kiefer und Kauapparate besitzen, nur von feinsten organischen Teilchen. Die Bewimperung der Mantelhöhle und der Kiemen erzeugt jenen beständigen Wasserstrom, der, an den Siphonen beginnend, bis zum Munde führt. Der Darm von Ostrea ist meist mit benthonischen Diatomeen gefüllt, zwischen denen planktonische Arten seltener sind. Im Herbst und Winter ist der Darm wohlgefüllt, im März aber meist leer. Auch Mytilus nährt sich wesentlich von Diatomeen, zwischen deren Schalen man aber auch kleine planktonische Copepoden und Balanuslarven findet. Manche Muscheln sollen auch größere Tiere mit ihren Schalen ergreifen und verdauen.

Die Tatsache, daß TROSCHEL die Zungenzähne der Schnecken zur Grundlage seiner Systematik wählte, beweist am besten die Mannigfaltigkeit der Nahrungsaufnahme in dieser Tiergruppe. Die Phytophagen benutzen ihre Zunge, um weiche Pflanzengewebe abzufeilen. Manche grasen auf verschiedenen Algen, andere findet man nur auf derselben Pflanze; vielfach fressen sie sich Löcher in das Pflanzengewebe, in denen sie hausen. STAHL fand, daß Arion an einem Tage den vierten Teil seines Körpergewichts fraß.

Die großen und beweglichen Gastropoden sind aber meist Fleischfresser und vermögen selbst harte Muschelschalen anzubohren oder Seesterne zu ergreifen und zu verzehren. SEMON sah ein Tritonium von 28 cm Länge eine 21 cm lange Holothurie verschlingen; eine andere verschlang einen Asterias von 26 cm Scheibendurchmesser in 4 Stunden und verdaute ihn an einem Tage. Manche Capuliden, welche auf der Mundscheibe altzeitlicher Seelilien aufsitzen, ernährten sich augenscheinlich von den Abfallstoffen derselben.

Gefährliche Raubtiere sind die rezenten Cephalopoden. Ihr kräftiger Schnabelkiefer, ihre bezahnte Zunge, ihre stark entwickelten Speichel- und Giftdrüsen und die mit Saugnäpfen bewehrten Arme befähigen sie zum Angriff und so stürzen sie sich selbst auf ihre an der Angel gefangenen Geschlechtsgenossen und werden mit ihnen erbeutet. Eledone spritzt den giftigen Speichel 20 cm weit; er wirkt sofort tödlich, selbst wenn er nur die Kiemen eines Krebses trifft. So können sie sogar dickschalige Muscheln töten und aussaugen; Krebse werden zerrissen, der Schädel von Fischen wird geöffnet und das Gehirn mit dem Rückenmuskel gefressen.

Wir dürfen annehmen, daß auch die fossilen Nautiliden, Ammoniten und Belemniten eine räuberische Lebensweise führten, bis sie geschickteren, besser ausgerüsteten Feinden erlagen.

Unter den lebenden **Arthropoden** nähren sich die meisten kleineren Formen von pflanzlichem Plankton. Die Copepoden, Schizopoden, Isopoden und Amphipoden sind daher an die diaphane Region gebunden.

Dagegen sind die Ostracoden und Amphipoden Aasfresser, sammeln sich in allen Tiefen um die Leichen größerer Tiere, verschmähen aber auch pflanzliche Kost nicht.

Die Cirrhipedier leben von kleinen Copepoden, die sie geschickt mit ihren Ranken ergreifen.

Die meisten Decapoden (Squilliden und besonders Macruren) sind durch ihre kräftigen Kaufüße zu einer carnivoren Lebensweise befähigt und gehören zu den gefährlichsten Raubtieren des Meeres. Jene lauern in selbstgewühlten Löchern auf die über den Meeresboden dahingleitenden Krebse und Fische, um sie mit raschem Hieb ihrer Säbelbeine zu zerschneiden, diese aber sind als Muschelknacker tätig, indem sie mit ihren Scheren oder im Kniegelenk ihrer kräftigen Füße die Muschel zerbrechen und deren Fleischteile dann herausholen. Ihre Bedeutung für die Bildung von Kalksand wurde S. 61 eingehend beschrieben.

Die kurzschwänzigen Krebse ebenso wie die Einsiedlerkrebse sind meist als Aasfresser tätig, sammeln sich an jeder Leiche, selbst an jedem kranken Tier und spielen als Gesundheitspolizei des Meeres eine bedeutsame Rolle. Da die Krebse ihre eigenen Verwandten nicht verschonen und deren Leichen rasch zerlegen, kann das Auftreten wohlerhaltener Decapoden, wie im Muschelkalk von Crailsheim und Jura von Solnhofen nur darauf beruhen, daß hier die Krebse rasch eingebettet wurden, bevor sie ihre Genossen anlockten.

Der kieferlose Mund der Trilobiten spricht dafür, daß sich die meisten von weicher, ungeformter Speise nährten; ihr kurzer, geradliniger Darm deutet aber auf eiweißreiche Nahrung. Es wäre zu prüfen, ob nicht manche glatte Trilobiten (Asaphus, Conocoryphe, Illaenus u. ä.) im Schlamme verborgen lebten. Die augenlosen Gattungen führten sicherlich ein solches Dasein.

Das massenhafte Auftreten von Agnostus in großen Kalkschwülen der schwedischen Alaunschiefer mag damit zusammenhängen, daß sie sich an der Leiche eines Weichtieres, dessen Körpermasse die Sekretion der Schwüle veranlaßte, sammelten.

Für die Gigantostraca haben Clarke und Ruedemann wahrscheinlich gemacht, daß sie vorwiegend im Schlamm lebten und nur einzelne Vertreter zum Nekton gehörten.

Sie führen auch die Ähnlichkeit in der äußeren Form der ältesten Fische (Ostracophora) auf dieselbe Lebensweise zurück.

Wenn wir die Spezialisierung der **Wirbeltiere** an einer bestimmten Art der Nahrungsaufnahme schildern wollten, so würde dieser Abschnitt viel Bekanntes wiederholen müssen. In den Schriften von Abel, Dollo,

Jaeckel u. a. sind Einzelheiten zu finden. Wir müssen uns darauf beschränken, besonders solche Erscheinungen zu behandeln, denen eine größere erdgeschichtliche Bedeutung zukommt.

Die ältesten wasserbewohnenden Wirbeltiere zeichnen sich durch das Vorwiegen unpaarer Sinnesorgane, den Mangel der Vierfüßigkeit und eine auffallend diffuse Verteilung ihrer Bewegungsorgane aus. Ja sogar ihre äußere Form scheint, soweit es sich nicht um gepanzerte Gattungen handelt, recht vielgestaltig gewesen zu sein. Wie bei den Trilobiten vermissen wir einen bewehrten Mund und besondere Kauapparate. Das alles deutet auf ein Leben im Schlamm und entsprechende pelophage Ernährung.

Seit dem Karbon treten die Elasmobranchia als älteste Raubtiere auf. Ihre nachträglich schwarz gefärbten Zähne, zum Ergreifen, Zerschneiden, Zerknacken oder Zermahlen der Beutetiere wohlgeeignet, liegen so massenhaft zwischen den organischen Kalken der Karbonzeit, daß man ursächliche Beziehungen zwischen beiden Erscheinungen annehmen muß. Da gerade in dieser Zeit so viele Geschlechter von vorher weitverbreiteten kalkschaligen Tieren aussterben, glaube ich auch diese Tatsache in ursächlichen Zusammenhang mit jenen bringen zu dürfen.

Es beginnt nun die Herrschaft der Haie und Ganoiden, die, vielfach mit Kauzähnen versehen, auf den Korallenriffen der mittelzeitlichen Meere eine große Rolle als Kalksanderzeuger gespielt haben müssen. Nur im dunklen Schlamm der Halistasen oder auf dem salzigen Kalkbrei der Lagunen sind uns ihre zusammenhängenden Exemplare gut erhalten, sonst fielen sie ihren räuberischen Verwandten zum Opfer und nur vereinzelte Zähne lassen ihre bionomische Bedeutung in den damaligen Lebensbezirken ahnen.

Die mit der Nahrungsaufnahme so eng verknüpften **Zähne** der Wirbeltiere wurden ursprünglich als Hautschuppen im Ektoderm zum Schutz gegen Verletzungen gebildet, fügten sich aber bald zu dem seltsamen System der Panzerplatten, welche den weichen Körper silurischer und devonischer Fische befähigten, in periodisch austrocknenden Wüstenseen zu leben und zur Luftatmung überzugehen.

Erst im Karbonmeer wurden die Plakoidschuppen der (ektodermalen) Mundhöhle als Reiß-, Schneide- und Mahlzähne dem Nahrungserwerb dienstbar.

Daß daneben zahlreiche andere Anpassungen an das benthonische oder nektonische Leben und in der alpinen Trias sogar schon fliegende Fische auftreten, ist mehrfach behandelt worden.

Eine neue Wendung erfährt die Wasserwelt durch das Auftreten der Knochenfische, die in der jüngeren Kreidezeit die Herrschaft im Meere erhalten. Die meisten von ihnen sind durch die merkwürdige

Reuse des Kiemenkorbes ausgezeichnet, ziehen in riesigen Schwärmen durch die Fluten der Hochsee und ernähren sich, indem Millionen dicht aneinander gedrängter Fischköpfe das planktonreiche Wasser durchsieben.

Wenn man erwägt, daß diese Art der Nahrungsaufnahme ein bis dahin kaum benutztes nahrungsreiches Gebiet eroberte und daß dadurch unermeßliche Schwärme der meroplanktonischen Larven aller damaligen Meerestiere vernichtet wurden, so kann man verstehen, warum mit dem massenhaften Auftreten der Hochseefische die Mehrzahl der mittelzeitlichen Meerestiere verschwindet und eine neue Lebewelt erscheint.

Die ältesten Tetrapoden begegnen uns in einer vierfüßigen Fährte aus dem nordamerikanischen Devon. Angepaßt an das Leben auf dem Lande, aber doch in Abhängigkeit vom Süßwasser entwickeln sich die Stegocephalen zu trägen, pflanzenfressenden oder schlanken räuberischen Formen, die am Ufer fischreicher Seen im Schlamm halb verborgen auf Beute lauerten. Der dünne, scharfe Unterkiefer von Capitosaurus scheint dagegen wohlgeeignet, um das weiche Gewebe sukkulenter Pleuromeien zu zerschneiden.

Mit dem Landleben und der neuen Form der Fortbewegung erwarben gleichzeitig die Tetrapoden die auf den Kieferrand beschränkte Zahnreihe und damit begann in der Reihe der höheren Wirbeltiere jene so hoch differenzierte Entwicklung des Zahnsystems.

Wir finden dann einen regellosen Zahnersatz bei den Stegocephalen und vielen Reptilien, den begrenzten Ersatz von zwei oder drei Zahnreihen bei den Säugetieren und den nachträglich erworbenen Zahnmangel bei Baptanodon, Pteranodon, Oudenodon, Vögeln und Edentaten. Einzelne Zahnanlagen von unbegrenztem Wachstum erzeugen die Nagezähne der Nagetiere, die Hauer der Suiden, die sogenannten Stoßzähne der Rüsselträger und den unsymmetrischen Zahnstab des Narwal.

Durch verwickelte Einfaltung der harten Schmelzplatte zwischen die weichere Zahnbeinmasse entstehen bei den Labyrinthodonten ebenso wie bei den Huftieren jene Zahnkronen, die sich durch den Gebrauch beim Abkauen immer aufs neue schärfen und daher zum Zerreiben der Pflanzennahrung besonders geeignet sind.

Manche sehr gefährlich aussehende Waffe der Raubtiere dient nur indirekt der Ernährung. Der Sägehai Pristis benutzt seine Säge, um in Tangdickichte einzudringen und die dort sich tummelnden Fische zu fressen. Auch die median am Rücken inserierte Zahnreihe des permischen Helicoprion, die sich nach dem Tode so seltsam zusammenrollte, mag ähnlichen Zwecken gedient haben.

Das Walroß nährt sich von Muscheln, die es mit seinen wie ein Rechen durch den Sand gezogenen „Hauern“ erbeutet; auch die Unterkieferzähne vom Dinotherium scheinen so benutzt worden zu sein.

Die im Ober- wie im Unterkiefer stehenden, seltsam gebogenen „Stoßzähne“ von Mastodon wurden anscheinend wie eine riesige Scherenzange gegeneinander bewegt, um Baumäste abzuschneiden und sich einen Weg durch den Urwald zu bahnen, ähnlich wie Elephas seine „Stoßzähne“ benutzt. Daher glaube ich auch, daß der mit großen Zähnen bewehrte E. primigenius die Wälder am Rande des diluvialen Eises durchstreifte, denn sein Futter bestand nachweislich aus der Flora sumpfiger Waldwiesen; auf Capri lebte er mit Mastodon zusammen.

Die sekundär an das Leben im Meere angepaßten Formen zeigen die mannigfaltigste Lebensweise und Ernährung. Der fischfressende Nothosaurus, der schalenknackende Placodus, der wie ein Delphin in lustigen Schwärmen durchs Wasser eilende Ichthyosaurus und der wie eine Schildkröte schwebende Plesiosaurus, dessen kleiner Kopf auf dem langen Schwanenhals zu blitzschnellen Bewegungen wohlgeeignet war, bilden bekannte Gegensätze.

Die paläontologische Geschichte der Säugetiere läßt die merkwürdige Tatsache erkennen, daß diese für die höchsten und mannigfaltigsten Leistungen des organischen Lebens bestimmten und befähigten Tiere zunächst lange Perioden hindurch ein kümmerliches Kleinleben führten. Wenn uns auch aus Jura und Kreide fast nur Zähne und Unterkiefer erhalten sind, so zeigen dieselben doch deutlich die geringe Körpergröße ihrer Träger. Die meisten scheinen nur Rattengröße erreicht und sich mit ihren Dreispitzenzähnen von Insekten genährt zu haben. Andere vielhöckerige Zähne waren zum Zerreiben von Blättern, Wurzeln und unterirdischen Knollen geeignet, nur wenige Nagezähne sprechen für härtere Pflanzenkost. Wenn man die Körpergröße und Differenzierung der gleichzeitig lebenden Saurier erwägt, dann erscheint das bescheidene Leben der Ursäuger besonders merkwürdig.

Es ist auffallend, daß die stammesgeschichtlich älteren Pflanzen (Farne, Schachtelhalme, Bärlappgewächse) auch heute noch so wenig unter Tierfraß zu leiden haben. Aber deshalb werden sie auch nicht durch die leicht beweglichen Tiere so verbreitet, wie die eigentlichen Futterpflanzen, die sich als Angiospermen erst seit der Mittelzeit entwickeln und verbreiten. Diese jetzt so unbestritten herrschenden Pflanzengeschlechter haben ihre siegreiche Laufbahn erst während der Kreideperiode über die Welt begonnen, und zwar gehören von 300 Pflanzenarten in der Unterkreide der nordamerikanischen Flora nur 75 zu den Angiospermen. Schrittweise nimmt ihre Zahl zu, und vielerlei weichblätterige, Körner und Samen tragende, mit bunten, honigreichen Blüten versehene Pflanzen eroberten die Welt. So entstanden überall völlig neue, aber ungemein günstige Bedingungen für die Entwicklung und Ausbreitung der Tiergruppen, die bis zum Schluß der Kreidezeit durch mancherlei Umstände in ihrer weiteren Entwicklung gehemmt waren. Die Insekten

und Vögel, die Nagetiere und Pflanzenfresser, die Insektenfresser und Fledermäuse und die kleinen und großen Raubtiere fanden jetzt so reiche Nahrungsquellen, daß sie sich ins Ungemessene vermehren und in zahlreiche Zweige gliedern konnten.

Die Anpassungserscheinungen der Reptilien und Säuger an bestimmte Formen der Nahrungsaufnahme sind so vielfach behandelt worden, daß wir uns hier nur mit den allgemeinsten Gesichtspunkten beschäftigen können.

Wenn wir mit manchen Tiergeographen ein holarktisches und ein antarktisches Entstehungsgebiet für die Säugetiere annehmen (indem wir die Monotremata, Marsupialia, Edentata, Litopterna, Typotheria, Toxodontia, Entelonychia, Astrapotherioidea als südliche, die anderen als nördliche Formenkreise betrachten, die sich bei ihrer nach dem Äquator gerichteten Wanderung mit wechselndem Erfolg über die Kontinente verbreiteten) — so fällt es zunächst auf, daß die antarktischen Gruppen fast keine fleischfressenden Raubtiere enthalten. Der endgültige Sieg der holarktischen Fauna hängt augenscheinlich mit dieser Tatsache zusammen. Auch die Meersäuger scheinen zum holarktischen Gebiet zu gehören. Dagegen finden wir entomophage und phytophage Formen in beiden Kreisen.

Auffallenderweise sind die in größter Individuenzahl und Formenmannigfaltigkeit auftretenden Säugetiere meist grasfressende Steppentiere, als deren unzertrennliche Lebensgenossen die zoophagen Raubtiere erscheinen. Dagegen beherbergt der Urwald und der pflanzenreiche Sumpfwald nur eine kleinere Zahl von höheren Tieren.

Die lokale Anhäufung von Säugetierknochen wird vielfach noch durch eine „Zusammenschwemmung“ erklärt, obwohl jeder Naturkundige weiß, daß große Fluten die Leichen gesellig lebender Tiere zwar auseinanderschwemmen, aber nicht lokalisieren können.

Überhaupt scheint das Futter viel weniger geeignet, um große Landtiere aus verschiedenen Lebensbezirken örtlich zu sammeln, als der Durst. Denn das Bedürfnis nach Wasser ist allen Landtieren gemeinsam, und je spärlicher die Wasserstellen einer Gegend sind, desto verschiedenartigere Tiere müssen sich hier sammeln. Mag eine vereinzelte Oasenquelle in der trockenen Wüste oder Steppe oder eine im Winter warme Quelle während der diluvialen Schneezeit als die einzige Tränke offen bleiben — stets werden sich hier zahlreiche Bewohner des umgebenden Landes zusammenfinden. In Zeiten großer Dürre gewinnen solche Tränken, besonders wenn sie endlich selbst versalzen und zum Trinken unbrauchbar sind, als Sterbeplatz derselben eine ganz besondere Bedeutung.

Rätselhaft ist das gehäufte Vorkommen von Säugetierknochen meist mit Ausschluß anderer Fossilien in den mit Roterde, gelbem oder grünem Lehm erfüllten Spalten der Kalkplateaus von Schwaben, der Schweiz und Frankreich.

Andere Knochenanhäufungen entstehen an dem Wohnort oder Jagdort von fleischfressenden Raubtieren, zu denen wir auch den Urmenschen rechnen müssen. Die Bären und Hyänen schleppten ihre Beute nach den Höhlen, und die berühmten Fundorte von Taubach, Ehringsdorf nnd Krapina waren Jagdplätze des Urmenschen.

Wie der wildernde Urmensch die Knochen seiner Jagdtiere ansammelte, so haben andere, an den Ufern des Meeres lebende Horden ungeheure Anhäufungen von marinen Kalkschalen erzeugt. Unter den von Brögger beschriebenen Fundstellen diluvialer Muscheln an der skandinavischen Küste befinden sich einige Orte, wo zahllose kälteliebende Muscheln und Schnecken nicht etwa eingebettet in marine Sedimente, sondern locker übereinander geschüttet gefunden werden. In Brägge bei Uddevalla wurden 80000 Wagen diluvialer Conchylien zum Bau eines Eisenbahndammes verwendet und noch heute liegen riesige Haufen derselben dort, die augenscheinlich nur durch muschelverzehrende Menschen dahin gebracht und übereinander geschüttet wurden Die Kjökkenmöddinger von Dänemark bieten ähnliche Erscheinungen und an der Küste von Südbrasilien liegen mitten in den Mangrovesümpfen zahlreiche bis 12 m hohe und 50 m breite Muschelhaufen, die von ausgestorbenen Indianerstämmen herrühren.

Der unbewehrte Mund der Trilobiten und der älteren Fische läßt deutlich erkennen, daß die meisten älteren Tiere von Plankton lebten oder den mit Verwesungsstoffen erfüllten Schlamm in ihrem Darmkanal verarbeiteten und bis zum heutigen Tage lebt eine ungeheure Zahl von Tieren als Sedimentfresser. Sie füllen ihren Darm mit dem sahneartigen Brei am Boden der Tiefsee, andere mit dem groben Sand des Ufergebietes. Spongien und Holothurien, Würmer, Krebse und Fische bieten hierfür lehrreiche Beispiele. Am zahlreichsten sind die schlammfressenden Würmer, die, oft mehrere Fuß tief vergraben, nur ihren kiemenbesetzten Kopf über den Meeresgrund erheben. Bei Ebbe kann man sich leicht überzeugen, daß Millionen von ihnen im abtrocknenden Sandboden stecken und große Mengen von ausgenutztem Darminhalt in kleinen, wurstartigen Gebilden von sich geben. In größeren Wassertiefen läßt sich dieser Vorgang natürlich nicht beobachten, aber die vielen Tiere, deren Darmkanal man bei der Sektion mit Schlamm erfüllt findet, sprechen eine deutliche Sprache. Obwohl es sich hierbei vorwiegend um Weichtiere hanhelt, deren vergänglicher Körper nicht fossil werden kann, so muß doch in allen Perioden eine ähnliche vergängliche Lebewelt von Schlammfressern existiert haben, deren äußere Körpergestalt nur aus seltenen Einzelfunden erkannt oder aus der Form der sandigen Röhren erschlossen werden kann, die besonders im Kambrium (Scolithus) ganze Quarzitbänke erfüllen.

Durch die Lebenstätigkeit derselben wurden unaufhörlich solche Mengen von Schlamm und Sand mit Darmbakterien, Gewebefetzen und

Abbaustoffen durchsetzt, daß ich annehmen möchte, daß jeder Kubikzentimeter Tonschiefer, Grauwacke. Letten, Mergel, Sandstein oder dichten Kalkes, der als marines Trümmergestein gebildet wurde, einmal den Darm eines Schlammfressers passiert hat. Besonders die gelegentlich in besonderen Schwülen angereicherten Mengen von Phosphorsäure sind Belege für diese wichtige lithologische Bedeutung der Schlammfresser.

Gegenüber diesen so weit verbreiteten organisch veränderten feinkörnigen Trümmergesteinen spielen die geformten Kotmassen oder Koprolithen, die gelegentlich in großer Menge in einer stillen Meeresbucht angehäuft wurden, eine ganz untergeordnete Rolle. Die Bactryllien der westalpinen Trias haben lange Zeit ein problematisches Dasein geführt, bis man in ihnen die Exkremente von Estherien ehemaliger Salzseen erkannte.

Bei der Beurteilung jeder festländischen Fauna, ihrer Arten und Individuenzahl, ihren Standorten und Wanderungen, ihrem sprunghaften Auftreten und plötzlichen Verschwinden muß stets berücksichtigt werden, daß die Fauna nur der nahrungspendenden Flora folgt und daß selbst ein großes Raubtier nur da gedeihen kann, wo seine Beute reichliches Pflanzenfutter findet. Alle Wanderungen der Tiere in Raum und Zeit werden dadurch bestimmt und die Flora geht stets voran. Da nun die Pflanzenwelt eine viel größere Abhängigkeit vom Klima zeigt, ergibt sich, daß man bei tiergeographischen und paläobiologischen Betrachtungen über die festländische Fauna der Vorwelt die gleichzeitig lebende Flora wohl im Auge behalten muß.

Literatur

Abel, O., Angriffswaffen und Verteidigungsmittel fossiler Wirbeltiere. Verh. d. k. k. zoolog.-botan. Gesellsch., Wien 1908, S. 207. — Andersson, J. G., Über kambrische und silurische phosphoritführende Gesteine. Bull. of Geol. Instit. of Upsala, No. 4, Vol. II, Part 2, 1895. — Bergmann, C. und Leuckart, R., Vergleichende Anatomie und Physiologie, Stuttgart 1855, S. 219. — Biedermann, W., Physiologie des Stoffwechsels in Winterstein, Handb. d. Vergl. Physiologie, Jena 1911, II 1. — Brandt, K., Über die morphol. u. physiol. Bedeutung des Chlorophylls bei Tieren. Arch. f. Anat u. Phys. 1882, Mitt. Zool. Stat. Neapel, 1883. — Brand, K., Über den Stoffwechsel im Meere, Kiel 1899. — Brogger, W. C., Om de Senglaciale og Postglaciale niv Äforandringer i Kristianiafeltet, af Norges geologiske undersegelse no. 31. Kristiania 1900, og 1901. — Clarke, J. M. und Ruedemann, R., New York State Museum Memoir 14. The Eurypterida of New York, 1912, S. 84. — Deecke, W., Die phosphoritführenden Schichten Bornholms. Mitteil. d. naturw. Ver. f. Neuvorpommern u. Rügen 1897. — Engelmann, Th. W., Über tierisches Chlorophyll. Onderz Physiol. Lab. Utrecht (3), VIII. 1883. — Fischer, P., Manuel de Conchyliologie, Paris. — Jaekel, O., Die Wirbeltiere, Berlin 1911. — Johnston, G., Einleitung in die Konchyliologie, Stuttgart 1853. — Lull, R. S., The Cranial Musculature in the ceratopsian Dinosaurs. Americ. Journal of Science Vol. 1908, S. 387. — Osborn, H. F., Trituberculy. The American Naturalist Dec. 1897, S. 993. — Osborn, H. F., Characters of the Great Herbivorous Dinosaur Camarasaurus. American Museum of Natural History pp 219—233, New York 1898. — v. Reichenau, W., Beiträge zur näheren Kenntnis fossiler Pferde und die Abbau-

stadien des Gebisses. Abhandl. Geolog. Landesanst. Darmstadt 1915. — Stahl, E., Laubfarbe und Himmelslicht. Naturw. Wochenschrift 1906. — Stahl, E., Zur Biologie des Chlorophylls, Jena 1909. — Till, A., Die fossilen Cephalopodengebisse. Jahrbuch d. Geolog. Reichsanst. Bd. LVII, 3. Heft, S. 535, Wien 1907. — Wohltmann, Ein Beitrag zu den Muschelbergen an der Ostküste von Brasilien. Z. f. Naturw., Halle 1890. S. 305. — Ziegler, H. E., Die phylogenetische Entstehung des Kopfes der Wirbeltiere. Jenaische Zeitschr. f Naturwiss. Bd. XLIII, S. 653, 1908.

28. Das Wachstum und die Form

Die Gestalt und Größe jedes Tieres und jeder Pflanze ist die Wirkung von Wachstumsvorgängen, die mit der Lebenstätigkeit des Protoplasmas verbunden und von physiologischen Zuständen im Körper sowie bionomischen Umständen außerhalb desselben abhängig sind. Sie sind grundverschieden von dem Wachstum der Kristalle und können nicht nach den Gesetzen der anorganischen Welt oder nach chemischen Laboratoriumsversuchen beurteilt werden.

Wenn wir die Formänderung eines Lebewesens von dem befruchteten Ei bis zur Erreichung seiner endgültigen Größe betrachten, so sehen wir, wie sich zunächst die Zellen im embryonalen Larvenleben vermehren und zu einer bestimmten äußeren Körperform gruppieren. Diese Anfangsstadien der Formbildung verlaufen beim Hydrobios in der Regel planktonisch und die Larven besitzen noch keine festen Skelette.

Nur wenige niedere Organismen (Protozoen, Ascones) vergrößern weiterhin ihre Körper durch Aufnahme und Assimilierung der Nahrung unter Beibehaltung ihrer Größenverhältnisse. Diesem isomorphen Wachstum stehen die Mehrzahl der Tiere, welche eine grundsätzliche einmalige oder mehrmalige Umgestaltung erleiden, als heteromorph gegenüber.

Bei ihnen führt die embryonale Zellteilung und Zellvermehrung zuerst zur Ausbildung einer charakteristischen Larve. Ihre Form ist vielfach benutzt worden, um die verwandtschaftlichen Beziehungen verschiedener Tiergruppen aufzuhellen. So ist die Trochophora-Larve bei Ringelwürmern und vielen Mollusken, Nauplius für die niederen, Zoëa die höheren Krebse bezeichnend. Aus der bei Echiniden und Ophiuriden auftretenden Pluteuslarve hat man geschlossen, daß diese beiden Gruppen nahe verwandt sind, während die Asteriden durch ihre Bipinnarialarve von diesen ebenso verschieden seien, wie von den eine tonnenförmige Larve bildenden Crinoideen.

Mit Abschluß des Larvenstadiums beginnt eine ganz neue Entwicklungsreihe, denn jetzt bilden sich nicht nur die bionomischen, sondern auch die morphologischen Eigenschaften des fertigen Tieres aus, und es entstehen die für die Paläontologie so ungemein wichtigen Hartgebilde.

Bei zureichender Nahrungsaufnahme vergrößert sich von da ab der Körper, ohne daß die Verhältnisse seiner Organe sich wesentlich änderten, und während man kleinere Personen meist als jugendlich, größere als ausgewachsen bezeichnen darf, variieren doch die in einem begrenzten Lebensraum gefundenen Exemplare nur wenig in ihrem Körperumriß.

Anders ist es bei den polymorphen, durch Stockbildung ausgezeichneten Gruppen. Hier hat zwar die zum Stock vereinte Einzelperson ihre bezeichnende Gestalt und Größe, aber der Umriß des Stockes wechselt mit der Zahl und Wachstumsrichtung der Personen.

Da die meisten Hartgebilde, wie wir früher sahen, im Innern von lebenden Geweben und allseitig von solchen umgeben angelegt werden und wachsen, vollzieht sich in der Regel ihr Wachstum durch Auflagerung auf die schon vorhandene Skelettanlage. So wachsen die Kalkskelette der Kalkalgen, Korallen, Tabulaten, Stromarien, Brachiopoden und Mollusken von einem Kern aus, der sich beständig ohne wesentliche Veränderung der Außengestalt vergrößert. Hierbei bleibt oft der embryonale Anfangsteil der Schale erhalten. Viele Tetrakorallen (Palaeocyclus, Zaphrentis) zeigen eine bilaterale Anlage der Sternleisten trotz der völlig radialen Anordnung des späteren Kelches. Der Wirbel der Brachiopoden und Muscheln, der Nucleus der Schnecken und der Protoconch der Cephalopoden sind oft beschrieben und systematisch verwertet worden.

Grundverschieden erfolgt die Vergrößerung wichtiger Hartgebilde bei Echinodermen und Wirbeltieren. Die kugelige oder birnförmige Schale der Cystoideen, die Krone der Echiniden, der Kelch und Stiel der Crinoiden, das Becken und der Schädel der Wirbeltiere, der Panzer der altzeitlichen Ganoiden, der Carapax der Schildkröten und der Panzer mancher fossilen Edentaten kann sich zwar durch Auflagerung von Kalk- oder Knochensubstanz verdicken, aber damit die Eingeweide und das Gehirn wachsen können, muß gleichzeitig die Skelettmasse auf der Innenseite weggenommen werden; denn selbst die zwischen den einzelnen Skeletteilen vorhandenen Nähte würden nicht ausreichen, um eine harmonische Vergrößerung des Hohlraums zu erlauben.

Cuvier, der zuerst die Wachstumsbeziehungen der Organe in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit erkannt hat, bezeichnete sie als Korrelation der Organe, später hat G. W. Roux diese sich bedingenden Vorgänge als Selbstregulierung der Organismen ausführlich dargelegt und begründet. Sie ist zweifellos die wichtigste Eigenschaft aller lebenden isomorphen und heteromorphen Wesen und für den Paläontologen gewinnt dieses Grundgesetz des Lebens eine noch höhere Bedeutung, wenn er sieht, wie es seit dem Kambrium alle organischen Vorgänge beherrscht — wie zahllose Personen, Rassen und Arten seit unvordenklichen Zeiten ausnahmslos ihm unterworfen sind.

Die Selbstregulierung bestimmt zunächst alle in demselben Lebensbezirk zusammenlebenden Personen derselben Rasse und verbindet die an verschiedenen Standorten lebenden Rassen zu gemeinsamer Art. Wenn wir aber nicht die gleichzeitig lebenden Rassen und Arten, sondern die chronologisch aufeinanderfolgenden und durch eine verschieden lange Lebensdauer ausgezeichnete Gattungen ins Auge fassen, so sehen wir ihre Größenverhältnisse in viel weiteren Grenzen schwanken, obwohl auch hier bestimmte Normen die Gattungskennzeichen nach unten und oben begrenzen. Je höher wir in der Stufenleiter der systematischen Gliederung aufsteigen, desto weiter werden die bestimmenden Eigenschaften der Größe.

Alle auffallenden Abweichungen einzelner Personen von der normalen Größe und Gestalt nennen wir abnorm.

Man pflegt die Abnormitäten in Zwerg-, Riesen- und Mißbildungen einzuteilen und hat die Entstehung derselben früher meist mit der Nahrungsmenge in Beziehung gebracht. Allein die genauere Untersuchung dieser Vorgänge, besonders bei Menschen, hat klar gezeigt, daß es sich entweder um Veränderungen der Keimzellen während des embryonalen Lebens oder um eine Erkrankung der sezernierenden Drüsen während des postlarvalen Lebens handelt. Man hat durch geeignete Experimente zwar die Mißbildungen, welche durch mechanische Eingriffe während der Entwicklung der Larven wie der fertigen Tiere entstehen, vielfach untersucht, aber die Bedeutung des Drüsensystems für das Wachstum ist bei niederen Tieren noch so wenig erforscht, daß wir nur selten entscheiden können, welche Ursache eine abnorme Form bedingte.

Der Zwergwuchs tritt uns paläontologisch in verschiedener Weise entgegen. Treffen wir innerhalb einer sonst normal großen Fauna auf eine Art, deren Körpergröße unter der Norm der an anderen Fundorten auftretenden Personen bleibt, dann werden wir sie als eine Zwergrasse ansehen dürfen, entstanden und angepaßt an einen besonderen Lebensbezirk. Finden wir innerhalb einer größeren Zahl normal gestalteter Personen vereinzelt kleinere Exemplare, so wird man an Jugendformen denken müssen, die frühzeitig gestorben und eingebettet worden sind. Jedenfalls sind „Zwerge“ in der Regel steril und können daher keine „Zwergfauna“ erzeugen.

Wenn aber eine aus mehreren Arten bestehende Zwergfauna vorliegt, so handelt es sich um einen Fundort, dessen bionomische Umstände für die Entwicklung der Fauna ungünstig waren und ihren frühen Tod verursachte. Bei Versalzung oder Aussüßung eines Meeresteils, bei rascher Veränderung der Wassertiefe oder schneller Zufüllung eines Beckens werden diese Umstände einmal oder wiederholt in der Schichtenfolge zu beobachten sein. Nur die genaue lithologische Untersuchung derselben kann diese Frage entscheiden. Daß zwischen solche früh ver-

storbene kleine Formen der bodenständigen Fauna zahlreiche ausgewachsene pseudoplanktonische oder nekroplanktonische Reste von anderen Tieren eingestreut sein können, bedarf keiner Begründung.

Eine gesonderte Behandlung verdient das Problem, ob eine Verkleinerung des Lebensraums zur Ausbildung von Zwergrassen führt. Die Zwergform der E. melitensis und E. mnaidriensis aus den Höhlen von Malta würde als eine Wirkung des Inselklimas angesehen werden können, wenn nicht heute in den Urwäldern am oberen Kongo der ebenfalls nur 2 m große E. africanus pumilis lebte.

Die riesigen Schildkröten, die in der Höhle von Malta gefunden wurden, stehen jedenfalls in scharfem Gegensatz zu den „Zwergelefanten" desselben Fundorts.

Wenn der Lebensraum einer Art verengt wird, dann verkleinert sich nicht etwa die Körpergröße, sondern die Zahl der fortpflanzungsfähigen Personen, und indem ihre Fruchtbarkeit, bei gleichzeitiger Vermehrung der schädigenden Umstände, vermindert wird, muß die betreffende Art aussterben.

Auch der Riesenwuchs des Menschen ist keineswegs durch Überfluß an Nahrung bedingt, sondern durch Veränderungen in der Sekretion bestimmter Drüsen. Wir müssen daher auch niedere Wesen nach demselben Gesichtspunkte beurteilen. Vereinzelte auffallend große Exemplare innerhalb einer gleichartigen Fauna sind verhältnismäßig seltener als Zwergformen. Doch gibt es Fundorte, an denen nicht nur besonders kleine, sondern auch sehr große Exemplare innerhalb einer normalen Fauna liegen. Da diese Gesetzlosigkeit meist aber nicht nur die Wachstumsgröße, sondern auch die Einzelgestaltung beherrscht, scheint es sich in solchen Fällen um Lebensbezirke zu handeln, in denen eine wichtige Existenzbedingung (Salzgehalt, Temperatur) großen und häufigen Schwankungen unterworfen ist.

Merkwürdigerweise finden wir in der Gegenwart auf isolierten Inseln oft geradezu riesige Arten, deren Körpergröße in umgekehrtem Verhältnis zu dem verfügbaren Lebensraum steht. Die Schildkröten der Galapagos im Pazifik und der Mascaren im Indik sind ebensolche Riesenformen wie die Riesenvögel von Neuseeland, die Rhytina der Behringsinseln oder die Hippopotamusreste auf den Inseln des Mittelmeers. In allen diesen Fällen scheint es sich um Relikte versunkener größerer Länder zu handeln, dessen aussterbende Bewohner auf den letzten Bergzügen eine Zuflucht fanden.

Eine andere Frage ist es, weshalb die durchschnittliche Größe von Personen derselben Art nach dem Fundort wechselt. Wir werden dann die größte Rasse als die normale betrachten und alle kleineren Standortsrassen als vorzeitig abgestorben oder ungenügend ernährt betrachten dürfen.

Die Ansicht ist .weit verbreitet, daß die Tiere der Vorzeit viel größer gewesen seien, als ihre rezenten Nachkommen. Hier hat die Häufigkeit der riesigen Säugetiere, die in Europa durch die diluviale Schneezeit ausstarben, zu einer irrigen Verallgemeinerung geführt. Denn die heutigen Wale sind viel größer als ihre tertiären Vorfahren, und das Mammut, das in Laienkreisen als das Symbol eines besonders riesigen Tieres gilt, war keineswegs eine besonders große Rasse des Elefanten.

Es kommt dazu, daß große Formen beim Sammeln mehr auffallen, als die mit ihm zusammen gefundenen kleinen Exemplare und Arten. Aber im allgemeinen läßt sich sagen, daß in der geologischen Entwicklung der meisten Tiergruppen eine Zeit besonders großer Arten und Gattungen vorkommt.

Die Foraminiferen	erreichten	besondere	Größe	im	Eozän
„ Crinoiden	„	„	„	„	Lias
„ Brachiopoden	„	„	„	„	Karbon
„ Schnecken	„	„	„	„	Eozän
„ Tetrabranchiaten	„	„	„	„	Silur
„ Ammoniten	„	„	„	„	Kreide
„ Belemniten	„	„	„	„	Dogger
„ Trilobiten	„	„	„	„	Untersilur
„ Ostracoden	„	„	„	„	Silur
„ Insekten	„	„	„	„	Karbon.

Auch die einzelnen Ordnungen der Wirbeltiere haben ihre bestimmte Zeit besonders riesig entwickelter Gattungen, Arten und Rassen. Aber man darf solche Erscheinungen nicht als pathologisch betrachten, sondern sie sind bedingt durch innere und äußere natürliche Umstände. Die Größenkurve einzelner Gruppen verläuft so verschieden, daß man schon aus deren Gestalt die Unabhängigkeit vom Aufblühen oder Aussterben erkennen kann.

Die Mißbildungen der Körperform werden meist schon im embryonalen Larvenleben angelegt. Zahlreiche Versuchsreihen an Echinodermen, Würmern, Mollusken, Insekten und Wirbeltieren haben gezeigt, welchen Einfluß die Keimzellen auf das Entstehen von Zwillingen, fehlenden oder überzähligen Organen, auf Zwerg- oder Riesenwuchs haben.

Immer handelt es sich um Einzelfälle; ganz selten dürften die äußeren Umstände so schädigend sein, daß ganze Generationen von Mißbildungen entstehen.

Besonders wichtig sind für uns die Anomalien der Hartgebilde, die sich besonders in einer abnormen Symmetrie äußern. Alle Cephalopoden mit gekammerten Schalen sind genau in einer Ebene aufgewickelt, und dieses Grundgesetz ihres Schalenbaues wird vom Silur bis zum rezenten Nautilus vererbt, während die Schnecken ebenso regelmäßig eine Symmetrie erkennen lassen, bei welcher sich die Wickelungs-

achse beständig exzentrisch verlagert und verlängert. Obwohl Tausende von Arten beider Molluskengruppen in allen Formationen mit- und durcheinander gelebt haben und in zahllosen Personen die Schichten erfüllen, bleibt die Wachtumssymmetrie beider völlig verschieden. Bei den Cephalopoden haben sich Trochoceras im Silur-Devon, Cochloceras in der Obertrias, Turrilites und Heteroceras in der Kreide von diesem Gesetz freigemacht, während bei den Schnecken nur Bellerophon eine gleichbleibende Symmetrieachse besitzt, obwohl die nahe verwandten Pleurotomarien den echten Schneckentypus zeigen.

Es kommen nur vereinzelte Personen bei den Cephalopoden mit schneckenähnlicher Wicklung vor, die man als Abnormität bezeichnen kann, aber es ist biologisch falsch, etwa die Turriliten als „krankhafte senile“ Formen zu bezeichnen.

Dasselbe gilt auch für die anderen kretazischen „Nebenformen“, bei denen sich die Windungen nicht berühren (Spiroceras, Ancyloceras) oder nur an jugendlichen Stadien normal involut sind, um später frei weiter zu wachsen (Scaphites), denn dieselbe eigenartige Wachstumsart finden wir schon bei dem formenreichen silurischen Geschlecht der Lituites, vielleicht hat auch Rhabdoceras und Baculites ein gewundenes Anfangsstadium gehabt.

Viele Tiere haben die Fähigkeit, Teile ihres Körpers oder ihrer Hartgebilde in regelmäßiger Wiederkehr abzutrennen und neu zu erzeugen. Diese Regeneration begegnet uns bei den Zähnen der Wirbeltiere, den Geweihbildungen der Cervicornia, bei der Haut der Insekten, vieler Krebse und Schlangen.

Man pflegt auch die örtlich gehäuften Trilobitenreste oder Häutungsprodukte zu betrachten, doch muß man im Auge behalten, daß die Decapodenschalen hierbei in der Dorsallinie aufspalten, während die Trilobitenringe nie geteilt sind.

Manche Hartgebilde zeigen ein so ausgeprägtes rhythmisches Wachstum, daß die dabei entstehenden Verzierungen zur Artbestimmung benutzt werden; die Rippen, Stacheln, Dornen und Streifen der Conchilien sind allbekannte Beispiele. Die Ursachen dieser Bildungen sind noch wenig untersucht; würden sie durch eine wechselnde Nahrungsaufnahme bedingt sein, so könnten sie nicht so regelmäßig gebildet werden.

Da die Mundsäume vieler Schnecken und Cephalopoden bei diesem rhythmischen Wachstum erst aufgelöst und dann wieder ausgeschieden werden müssen, kann es sich auch hier nur um Vorgänge nervöser Selbstregulierung der kalkausscheidenden Drüsen und Gewebe handeln, die man mit dem Ausheilen von Kristallen nicht vergleichen darf.

Als Reparation bezeichnet man den Ersatz zufällig verlorener Körperteile. Wenn man Spongien zerschneidet und die Teilstücke mit Nadeln vereint, runden sich die Schnittflächen rasch ab und die Teil-

stücke wachsen wieder zu einem neuen Stock zusammen. Oft sieht man ähnliche Reparaturen an Korallen und Tabulaten. Ich sammelte in Gotland eine Omphyma, welche von ihrem Stolonen abgebrochen und mit einem rechtwinkligen Knick wieder nach oben gewachsen war. Viele Echinodermen haben die Fähigkeit, Verletzungen rasch wieder zu ergänzen. Ophinoiden und Asteriden können aus einem Arme das ganze Tier reparieren. Auch bei den Mollusken erfolgt die Ausheilung von Verletzungen der Weichteile wie der Schale sehr leicht. Im Trümmerschutt einer alten Mauer fand ich im folgenden Jahre zahlreiche Helix mit zerbrochener und reparierter Schale.

Manche Krebse stoßen ihre Beine ab, wenn man sie daran festhält und entgehen so leicht ihren Feinden. Drollig sieht ein großer Hummer aus, der seine eine Schere auf diesem Wege verloren hat und mit einer Zwergschere herumläuft.

Das Ausheilen von Knochenbrüchen bei Wirbeltieren ist auch von fossilen Funden bekannt.

Die merkwürdige Eigenschaft aller Organismen, ihre Wachstumsvorgänge nach besonderen Gesetzen zu regulieren, äußert sich besonders darin, daß kleine und große Gruppen (Familien, Ordnungen und Klassen) in gewissen architektonischen Grundzügen übereinstimmen, die selbst bei großem Wechsel in der äußeren Gestalt, Größe und Lebensweise doch immer wiederkehren. Sie wurden von den älteren Naturforschern als „Typus“ bezeichnet; wenn aber Goethe die Mannigfaltigkeit der demselben Typus angehörenden „Metamorphosen“ als Künstler und Naturforscher verglich, und die Gesetze ihrer Abänderungen zu verfolgen suchte, so kann man ihn doch nicht eigentlich als den Vorläufer Darwins bezeichnen, denn seinen Betrachtungen fehlt die geologisch-chronologische Anordnung der sich aus einander ableitenden Formen.

Erst E. Haeckel gab dem „Typus“ neuen Inhalt, indem er ihn als die Summe der geschichtlich durch Anpassung erworbenen und durch Vererbung befestigten Eigenschaften bezeichnete. In seiner Generellen Morphologie hat er die „Promorphologie“ der Organismen ebenso zu gliedern und zu ordnen versucht, wie der Mineraloge die vielen Kristallformen der Mineralien auf einige wenige durch Achsen und Flächen bestimmte Systeme zurückführt.

Für eine paläontologische Betrachtung der erhaltungsfähigen Reste fossiler Lebewesen kommen allerdings nur solche Urformen in Frage, die eine gewisse Größe haben und durch Hartgebilde ausgezeichnet sind. Nur mit ihnen werden wir uns also hier beschäftigen. Wenn uns auch viele Lebensformen der Vorzeit unbekannt sind und bleiben werden, so erlauben uns doch die erhaltenen Reste, die Frage zu entscheiden, wann bestimmte stereometrische Formen aufgetreten sind und wie sie sich zu geologisch älteren Ahnen und jüngeren Nachkommen verhalten.

Von den vielen stereometrisch mehr oder weniger regelmäßigen organischen Gestalten, die HAECKEL nach ihren Achsen und deren Gruppierung unterscheidet, treffen wir in der fossilen Formenwelt folgende Typen besonders häufig:

1. amorphe unregelmäßig gestaltete Wechselformen,
2. Kugeln und ähnlich rundliche Körper (Walze und Scheibe) mit zahlreichen von einem Punkt oder einer Hauptachse ausgehenden Nebenachsen,
3. Röhren von wachsendem oder gleichbleibendem Kaliber und rundlichem oder polygonalem Umriß,
4. radialsymmetrische Körper mit 4 oder 5 gleichen Parameren,
5. metamere Körper, bestehend aus einer Anzahl hintereinander angeordneter Teilstücke, die mehr oder weniger polymorph differenziert sind,
6. bilateral-symmetrische Körper, bestehend aus 2 spiegelbildlich gleichen Antimeren.

Man sollte annehmen, daß die unregelmäßigen Formen den Ausgangspunkt aller anderen Gestaltung bildeten und daher in den ältesten Perioden besonders häufig wären. Aber das ist keineswegs der Fall. Denn im Kambrium entsprechen nur Protopharetra, Dictyonema und die Anomalocystiden diesen Forderungen, während neben den bilateralsymmetrischen Brachiopoden und Hyolithen und den radialsymmetrischen Archaeocyathiden die metameren Anneliden und Trilobiten vorwiegen.

Im Untersilur begegnet uns mit der neuen formenreichen Lebewelt eine viel größere Mannigfaltigkeit der Gestaltung. Kugelige Eutaxicladinen, Cystoiden, Echiniden, Bellerophontiden, Gomphoceratiden sowie scheibenförmige Goniatiten und bilateralsymmetrische Brachiopoden, Gastropoden, Muscheln, Cephalopoden, Trilobiten und Fische leben zwischen amorph oder radial gebauten Bodentieren. Sowohl die vierstrahligen Tetrakorallen wie die fünfstrahligen Asteroiden und Crinoiden sind scharf zu unterscheiden und bilateral-metamere Trilobiten zeigen vielgestaltige Differenzierung.

In der weiteren erdgeschichtlichen Entwicklung treten innerhalb der genannten Formenkreise immer wieder vereinzelte Familien oder Ordnungen von anderem Bau auf, obwohl die Anatomie der Skelette die typische Ausgangsform in mehr oder weniger deutlichen Rudimenten erkennen läßt.

Eine kurze Übersicht dieser Umwandlungen soll die hiermit zusammenhängenden Probleme nicht erschöpfen, sondern nur zu eingehender Untersuchung derselben anregen.

Die amorphe Gestalt findet sich vielfach bei primitiven Formen, die im Laufe ihrer späteren Entwicklung eine regelmäßige Anordnung ihrer Organe erworben haben.

Bezeichnend ist die Wechselform bei den Spongien, die man deshalb auch als „Amorphozoa“ bezeichnet hat; und doch schimmert bei vielen fossilen wie rezenten Formen durch die regellose Mannigfaltigkeit eine typische Gestalt immer wieder durch. Manche Spongienstöcke sind freilich so vielgestaltig, daß man nur beim Betrachten des Kanalsystems oder der Nadeln ihre systematische Stellung bestimmen kann.

Die Receptaculitiden verdienen eine genauere biologische Prüfung, da die großen hohlen Stacheln, ganz abgesehen von ihrer kalkigen Beschaffenheit, viele Rätsel bergen.

Unter den ältesten Echinodermen sind die Anomalocystidae durch Vielgestaltigkeit ebenso ausgezeichnet, wie manche devonische Fische (Lanarkia).

Die Kugel tritt unter den größeren Tierformen recht selten auf, wahrscheinlich in Anpassung an planktonische Lebensweise nachträglich erworben. Sie begegnet uns besonders bei spiralig wachsenden Schalen. durch Übergänge mit der Scheibe und Walze verknüpft. Bei den Foraminiferen führt die kurze Wickelachse zu den scheibenförmigen Rotaliden und Nummuliten, die längere zu der kugeligen Schwagerina, Orbulina, Globigerina, endlich zu der spindelförmigen Fusulina und Alveolina. Diese planktonischen Formen sind als gesteinbildende und leitende Typen besonders merkwürdig.

Auffallend ist das Auftreten der so fein struierten Eutaxicladinen im Silur, mit ihrer Kugelgestalt (abgeplattet Astylospongia, rund Hindia), die wegen der Abwesenheit eines Wurzelansatzes schon Zittel für freischwimmend hielt.

Unter den Echinodermen treffen wir die Kugelgestalt zuerst bei einigen Cystoideen (Echinosphaerites, Glyptosphaerites), deren massenhaftes Auftreten für Plankton spricht, dann bei vielen benthonischen Seeigeln. von dem primitiven Bothriocidaris bis zu den rezenten Sphaerechinus. endlich bei einigen planktonisch gewordenen Crinoiden (Saccocoma, Marsupites, Uintacrinus), wo die Arme zu dünnen Anhängen geworden sind.

Nur wenige Brachiopoden (Porambonites) und Muscheln (Nucula) sind kugelig geworden. Bei Schnecken tritt die Kugelgestalt kaum auf, die runde Gestalt von Bellerophon spricht für planktonische Lebensweise. Auch bei den Cephalopoden zeigen nur Gomphoceras, Goniatites und Arcestes die verlängerte Wickelachse, während sonst die kurzachsige Scheibe vorwiegt. Die merkwürdige Zähigkeit, mit welcher sich die genau mediane Wickelung der meisten Nautiloiden und Ammonoiden vererbt, wird nur bei dem altzeitlichen Trochoceras, den triadischen Cochloceras und dann nach langer Pause bei Turrilites und Heteroceras durch die Treppenwindung ersetzt, während umgekehrt bei den zahllosen Schnecken die letztere Wachstumsform so ausnahmslos vorherrscht, daß man nur in der seit dem Karbon merkwürdig lebenszähen Planorbis eine

Annäherung an die Ammonitenscheibe sieht. Kugelige Arthropoden sind kaum zu finden, dagegen zeigen einige Fische die Gestalt als „Schreckform“.

Weitverbreitet ist bei vielen Meerestieren die kalkige Röhre mit kreisförmigem, elliptischem oder vieleckigem Umriß. Die Lageniden, Tabulaten und Heliolithiden, viele Würmer, die Schnecken und viele Cephalopoden, die Tabulaten, Hyolithen, Tentaculiten und Conulariiden bergen ihre Weichkörper in einer rings geschlossenen hornigen oder kalkigen Röhre.

Kieselröhren gibt es nicht, wenn man nicht die Kanäle mancher Spongien (Eutaxicladinen) als solche betrachten will. Verwandtschaftliche Beziehungen auf Grund einer röhrigen Schale aufzustellen, widerspricht allen Gesetzen einer natürlichen Systematik; nur die mikroskopische Struktur solcher Kalkhüllen könnte manche problematische ältere Röhrenbewohner beurteilen helfen.

Manche Tiere bilden eine radial gekammerte Röhre. Bei den Archaeocyathiden ordnen sich zahlreiche Septen zwischen zwei Röhren, bei den Korallen ragen sie mit freiem Rand in den Hohlraum der Röhre hinein.

Eine seriale Kammerung der Röhre finden wir bei den festsitzenden Tabulaten und einigen Pharetronen sowie den freibeweglichen Cephalopoden als besonders zäh vererbte Eigenschaft.

Kammerung darf nicht mit der Metamerie verwechselt werden, durch welche der lebende Körper selbst in eine kleinere oder größere Zahl von Segmenten zerlegt wird. Sie ist bezeichnend für die Anneliden, Arthropoden und Wirbeltiere und meist verknüpft mit einer starken Differenzierung der aufeinanderfolgenden Abschnitte (Kopf, Rumpf, Schwanz) sowie der Ausbildung einer Rück- und Bauchseite. Wir treffen diese Gestalt sowohl bei sehr primitiven wie bei den höchst entwickelten Gruppen.

Bei einigen koloniebildenden Tieren, den rezenten Campanularien, manchen Korallen (Seriatopora) und Bryozoen (Fenestella) sowie den silurischen Graptolithen entsteht eine Art Metamerie, indem sich gleichartige kleine Personen an eine feste Achse anordnen. Auch diese Wachstumsform wurde in den verschiedenen Gruppen selbständig erworben und hat mit Blutsverwandtschaft nichts zu tun.

Der großen Zahl der ihren Körper zusammensetzenden Metameren entspricht bei Anneliden, Trilobiten, Myriapoden und Peripatus sowie den Raupen der Schmetterlinge eine fast ebenso große Zahl von Beinen. Dagegen wird deren Zahl bei den Decapoden (10), Spinnen (8), Insekten (6) und Wirbeltieren (4) in merkwürdig konstanter Weise festgelegt und vererbt. Das plötzliche geologische Auftreten dieser Zahlenverhältnisse ist ebenso auffallend wie die spätere Reduktion der Zahlen durch Verkümmerung einzelner Paare, während eine nachträgliche Vermehrung niemals beobachtet wird.

Neben den metamer gegliederten Formen ist die bilaterale Symmetrie ein besonderes Kennzeichen der freilebenden Tiere.

Selbst wenn die ausgewachsenen Formen durch festsitzende Lebensweise nachträglich radial gebaute Skelette erhalten, ist die Organisation ihrer Weichteile und die Larve oft so deutlich bilateral, daß man diese Gestalt als Ausgangspunkt vieler Entwicklungsreihen betrachten darf. Die ursprünglich radialen Echiniden werden im Laufe ihrer erdgeschichtlichen Entwicklung wieder bilateral, und es ist überaus merkwürdig, daß alle altzeitlichen Seeigel, abgesehen von ihrer Madreporenplatte, aus fünf völlig gleichartigen Ambulacren bestehen, die sich erst im Jura unter Verlängerung des Scheitelschildes bilateral umordnen. So entstehen die „Irregulares“ und leben seither in ungefähr gleicher Anzahl mit und neben den regulären Gattungen.

Daß diese Umwandlung des Schalenbaues in Anpassung an die Fortbewegung in einer bestimmten Richtung entstanden ist, läßt sich an einigen Korallen beweisen, die in Lebensgemeinschaft mit einem Wurm lebend von diesem am Meeresboden herumgeschleppt werden und hierbei eine ganz bilateral-symmetrische Gestalt erworben haben. Die rezente Heteropsammia zeigt diese Vorgänge bei einer Einzelkoralle, eine (wegen ihrer abgebrochenen Septen leider nicht sicher bestimmbare) ähnliche stockbildende Form aus dem Jungtertiär der Insel Schedwan im Roten Meere läßt sogar dieselbe Bilateralität an einem aus 6—10 Kelchen bestehenden Korallenstock nachweisen.

Ihre letzte und vollkommenste Ausbildung in Anpassung an besonders rasche Bewegungen in einer bestimmten Richtung erreicht die bilaterale Gestalt bei den nektonischen Wassertieren: manchen Dibrachiaten, den Hochseefischen, Delphinen und Walen sowie den raschbeweglichen Vögeln. Es bildet sich hier die Torpedogestalt aus, mit einem nach vorn verdickten, im Querschnitt runden und nach hinten sich verjüngenden Körper, dessen Vorderabschnitt durch den Mund und die Sinnesorgane, dessen Schwanz durch eine stark entwickelte Muskulatur ausgezeichnet ist, während bewegliche Steuer-, Ruder- und Flugorgane willkürlich ausgebreitet oder eingezogen werden können. Die mechanischen Vorteile einer solchen Gestalt sind so groß, daß sie Reptilien und Säugetiere in Anpassung an diese Bewegungsart im Laufe der Erdgeschichte immer wieder neu erworben haben.

Literatur

v. Bather, F. A., Cephalopod Beginnings. Natural Science Vol. V, 1894, S. 422. — Bronn, H. G., Morpholog. Studien über die Gestaltungsgesetze der Naturkörper, 1858. — Buckman, S. S. and Bather, F. A., Can the sexes in Ammonites be distinguished? Natural Science Vol. IV, 1894, S. 427. — Darwin, Ch., Über die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl, 1859. — Deecke, W., Paläontologische Betrachtungen. I. Über Cephalopoden. N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont., Beil. Bd. XXXV, S. 241—276, 1912. — Deecke, W., Paläobiol. Studien. Sitzungsber. Heidelberger Akad. d. W. 1916,

S. 21. — Deecke, W., Paläontologische Betrachtungen. III. Über Echinoiden. Zentralbl. f. Min., Geol. u. Paläont. Jahrg. 1913, Nr. 16, S. 498—507 u. Nr. 17, S. 526—534. — Engel, Dr., Paläontologische Abnormitäten (drei Krüppel). Jahresh. d. V. f. vaterl. Naturkunde in Württ. 1909, S. 162. — Fraas, Über das Verwachsen zweier Belemniten. 9. Kleinere Paläont. Mitteilungen 1859, S. 127. — Gümbel, C. W., Die Dachsteinbivalve. Sitzungsber. Wiener Akad. 1862, Bd. XLV. — Haeckel, E., Prinzipien der Generellen Morphologie der Organismen, 1906, Bd. III. — Haeckel, E., Natürliche Schöpfungsgeschichte, IX. Aufl., 1898. — Haeckel, E., Systematische Phylogenie. Berlin 1894, I, S. 65. — Hennig, Edw., Über dorsale Wirbelsäulenkrümmung fossiler Vertebraten. N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont. 1915, I. Heft 3, S. 575. — Hoernes, R., Materialien zu einer Monographie der Gattung Megalodus. Denkschr. Wiener Akad. 1880, XL. — Korschelt, Regeneration in: Handwörterb. d. Naturw., Jena 1911, S. 160. — Kowarzik, Rud., Merkwürdige Mißbildung eines Schädels von Bos taurus L. Zoolog. Anzeiger Bd. XXXVI, Nr. 10/11, 1910, S. 204. — Landois, H., Die Riesenammoniten von Seppenrade. XXIII. Jahresb. d. Westf. Prov.-Ver. f. Wissensch. u. Kunst, Münster i. W. 1895. — v. Loesch, K. C., Eine fossile pathologische Nautilusschale. N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont. Jahrg. 1912, Bd. II, S. 90. — Lydekker, R., Catalogue of the fossil Mammalia in the British Museum, Part. IV, London 1886. — v. Meyer, Palaeontographica, Bd. I Fauna des Muschelkalkes von Oberschlesien, S. 270. — Pompecky, J. F., Über Ammoniten mit anormaler Wohnkammer. Jahreshefte d. Ver. f. vaterl. Naturk. i. Württemb. Bd. L, 1894. — Przibram, H., Regeneration in: Experimentelle Zoologie, Leipzig 1909, II. — Rauff, H., Palaeospongiologia. Palaeontographica, 1893, Bd. XL u. XLI. — Rothpletz, A., Über eigentümliche Deformationen jurassischer Ammoniten. Sitzungsb. d. B. Bayer. Akad. Math.-phys. Kl. 1901. — Roux, W., Programm und Forschungsmethode der Entwicklungsmechanik der Organismen, Leipzig 1897. — Roux, W., Vorträge und Aufsätze über Entwicklungsmechanik der Organismen, Leipzig 1905. — Schmidt, Emil, Die Größe der Zwerge und der sog. Zwergvölker, Globus 1905, Nr. 7. — Shimer, H. W., Dwarf Raunas. Ibid. Bd. XLII, S. 472—490, 1908. — Smith, B., Senility among gastropodes. Proc. Acad. Nat. Sc. Philadelphia 1905. — v. Strombeck, Über Mißbild. von Encrineus liliiformis. Palaeontographica Bd. IV, S. 169. — Volz, W., Über die Korallenfauna der St. Cassianer Schichten. Schlesische Gesellschaft, Breslau 1894.

29. Die Fortpflanzung

Sobald ein Lebewesen die ihm durch die Gesetze der Selbstregulierung vorgezeichnete Körpergröße erreicht hat, werden die neu aufgenommenen Nahrungsmittel nicht mehr allein zum Aufbau seiner Gewebe, sondern zur Erzeugung von Nachkommen gleicher Gestalt und Art verwendet. Bei vielen niederen und besonders den einzelligen Tieren und Pflanzen geschieht dies durch Teilung, bei den vielzelligen Metazoen entweder, wie wir im nächsten Abschnitt betrachten werden, durch Knospung oder auf geschlechtlichem Wege durch Bildung von einzelligen Eiern und Spermien, die sich befruchten und dann ein selbständiges Leben beginnen.

Der Gegensatz von männlichen (♂) und weiblichen (♀) Personen, der eine Selbstbefruchtung verhindert und die Lebenskraft der folgenden Generationen fördert, ist in den inneren Weichteilen aller Tiere sehr ausgeprägt, aber da die Geschlechtsdrüsen weich und dehnbar sein

müssen, damit sie sich zur Reifezeit füllen, dann aber wieder zusammenschrumpfen können, sind diese nie verkalkt und können daher nur selten fossil werden. Der Geologe wird daher das Geschlecht eines Fossils nur dann bestimmen können, wenn bei der betreffenden Gruppe sogenannte sekundäre Geschlechtscharaktere vorhanden sind.

Solche sind bei Wirbeltieren weit verbreitet (Hörner, Stoßzähne, kräftiger oder schwacher Knochenbau, Beckenweite) und auch in manchen fossilen Gruppen nachgewiesen. Bei den Wirbellosen kämen wohl nur die Trilobiten und Cephalopoden für eine derartige Unterscheidung in Betracht.

Da die geschlechtliche Vermehrung die Verbreitung und Lebensdauer der Tiere bestimmt, sind oftmals Einrichtungen zum Schutz der Jungen innerhalb des mütterlichen Organismus, in lockeren Sedimenten oder durch Nestbau vorhanden, aber in den meisten Fällen muß die Erhaltung der Art durch eine große Zahl von Keimen erreicht werden.

Die Vergrößerung der Keimdrüsen während einer kurzen Trächtigkeitsperiode macht bei Weichtieren keine Schwierigkeiten, bedingt aber bei skelettbildenden Tieren besondere Einrichtungen.

Die Kalkschale der Seeigel, Muscheln und Brachiopoden umschließt daher einen großen Hohlraum, innerhalb dessen sich die Keimdrüsen ausdehnen können. Bei den Schnecken erfolgt das Wachstum der Schale während der Trächtigkeit und viele rhythmisch wiederkehrende Querverzierungen der Schalen mögen damit zusammenhängen.

Auch die an Steinkernen erkennbare Kammerung der Cephalopodenschalen glaube ich auf den Rhythmus der Trächtigkeit zurückführen zu dürfen. Während der Trächtigkeit wächst der Mundsaum der Wohnkammer so heran, daß der nach dem Ausstoßen der Eier und Spermien stark verkleinerte Körper in der zu geräumigen Schale nicht den genügenden Halt findet; das Hinterende zieht sich vom Boden der Wohnkammer zurück und trennt den jetzt überflüssig gewordenen Hohlraum durch eine Scheidewand ab. Indem ein Orthoceras oder Ammonit bei jeder Trächtigkeit um das Volumen seiner Geschlechtsprodukte weiterrückt, entsteht die so bezeichnende Kammerung. Die Abstände der Septen werden bei manchen Formen (Ascoceras) mit dem Altern so klein, daß man darin die Sterilität seniler Personen sehen darf. Bei der Wichtigkeit der Kammerung für die Vermehrung der gekammerten Cephalopoden gewinnt die dadurch entstehende Naht (Sutur) der Scheidewände an der äußeren Schale eine grundsätzliche systematische Bedeutung, und wenn im Alter nur noch wenige Geschlechtsprodukte gebildet werden, rücken die Septen nahe aneinander.

Bei den Wirbeltieren sind die Bauchdecken meist weich und elastisch, um das Wachstum der Geschlechtsdrüsen zu ermöglichen; das Vorhandensein von Bauchripppen bei manchen Reptilien wäre in dieser Hinsicht zu prüfen.

Nur bei wenigen Meerestieren findet eine Befruchtung der Eier im mütterlichen Organismus statt. Die meisten entleeren Eier und Spermien ins Meerwasser, wo die Befruchtung stattfindet. Infolgedessen unternehmen sehr viele Meerestiere weite Wanderungen nach bestimmten Laichplätzen und sammeln sich in oft sehr beträchtlicher Zahl an Stellen, wo sie sonst fehlen oder selten sind.

Der Reichtum mancher Schichten an erwachsenen Personen einer einzigen beweglichen Art hängt meist mit der Laichzeit zusammen. Scharen von Uintacrines haben ihre Arme zu einer großen Hohlkugel verflochten, in der wahrscheinlich die Befruchtung der Eier erfolgte.

Die bei den Säugetieren so ausgeprägte Brutpflege und Beschützung der Jungen kommt auch vereinzelt bei niederen Tieren vor. Oft sitzen die Jugendformen auf der Mutter aufgewachsen (Conularia, Brachiopoden, Muscheln). Das Vorkommen von kleineren Hyolithenschalen in größeren kann aber auch auf mechanischem Wege erklärt werden. Bei Goniatiten hat Weigelt, bei Ammoniten Michael Muttertiere beschrieben, deren Wohnkammer mit zahllosen Jungen erfüllt war. Aber die meisten Tiere vermehren sich durch Larven, die eine andere Gestalt, andere Lebensweise und andere Verbreitung besitzen, als ihre Eltern, und schutzlos umhertreiben, bis sie sich an ihrem Heimatplatz wieder niederlassen oder zufällig an einem entfernten Standort dieselben Lebensbedingungen finden. Bei der großen Auslese, die hierbei erfolgt, wird die Erhaltung der Art vorwiegend bestimmt durch die Zahl der befruchteten Eier, welche diese passiven Wanderungen unternehmen.

Bei den Foraminiferen sind einige Fälle bekannt (Miliola, Rotalia, Biloculina, Peneroplis), wo zahlreiche Jugendformen innerhalb einer erwachsenen Schale gefunden wurden. Dieselben sind entweder nackte, nucleinartige Plasmateile oder mit einer wenig gekammerten Schale umgeben. Bei Polystomella treten Schwärmsporen aus den Muttertieren.

Die Radiolarien vermehren sich durch Teilung ihres Plasmaleibes oder unter Bildung zahlreicher mit Geiseln versehener Schwärmsporen. Leider fehlen auch für diese so ungemein zahlreichen Einzelligen eingehendere Untersuchungen über die Fortpflanzung und die Wanderungen der Jugendformen.

Die Spongien bilden Eier und Samenzellen, die sich innerhalb der Mutter befruchten und erst als Larven ausschwärmen. Sie setzen sich, nachdem das Gastrulastadium erreicht ist, mit dem Urmund fest.

Die Graptolithen-Entwicklung ist von Rüdemann und Wiman untersucht worden. In vier kleinen Blasen (Gonangien) entwickeln sich bei Diplograptus pristis die von der dütenförmigen Sicula geschützten Embryonen. Nachdem die Blase geplatzt ist, bleiben viele, wenn nicht alle Siculae in zarten Bündeln an der Haftscheibe hängen und verlängern sich durch Längenwachstum sowie den Ansatz neuer Theken. Wenn die

erste Generation der Rhabdosome abgefallen ist, entwickelt sich ein neuer Kranz von Blasen.

Die Zahl der befruchteten Larven, die ein Korallentier bildet und ins Meerwasser aussendet, ist nicht genau bekannt; von einer Aktinie erhielt Dalyell in 6 Jahren 276 Junge.

Die ungeschlechtliche Vermehrung der Steinkorallen läßt sich leider nur annähernd schätzen, da methodische Untersuchungen unter natürlichen Umständen sehr schwer sind. Ich sah an der Landungsbrücke von Sabang Korallenstöcke, die in 10 Jahren 8—10 cm hoch gewachsen waren, und eine 8 cm hohe Pocillopora, die auf einem Kabel von Java nach Sumatra in 5 Jahren gewachsen war, zählt etwa 9500 Kelche.

(Astroides calycularis IV—VI, Corallium rubrum V—VI, im VI. viele Aktinienlarven im Plankton.)[1]

Die Echinodermen sind überaus fruchtbar; Sphaerechinus liefert in einem Jahre eine Million Eier. Manche Gattungen haben eine eigenartige Brutpflege und demgemäß eine geringe Zahl größerer Eier, bei Echinastes 10—12. (Amphiura squamata ist vivipar während des ganzen Jahres. Asterina gibbosa befestigt seine Eier in Gruppen zwischen Algen und Steinen III—V. Sphaerechinus granularis und Strongylocentrotus lividus sind während des ganzen Jahres trächtig.)

Die in den Pinnulae der Crinoiden sich bildenden Eier werden nach der Befruchtung planktonisch, setzen sich aber rasch auf festem Untergrund fest. (Antedon ist während des ganzen Jahres trächtig zu finden.)

Die Eier der Brachiopoden entwickeln sich im Mantel; die Larven werden planktonisch verbreitet.

(Argiope mit Eiern und Larven II, Terebratula vitrea ist in II und VI mit 2—3 mm großen Jungen bedeckt.)

Die Bryozoen pflanzen sich meist durch Knospung fort; neue Stöcke bilden sich durch freischwimmende Larven.

(Bugula flabellata II und V, Bugula plumosa X—XII, Myriozoum truncatum II.)

Von den Muscheln kennen wir am besten die Eizahl der eßbaren Formen. Eine ausgewachsene Ostrea produziert jährlich über eine Million Eier, Arca zwei Millionen. Nach Möbius sind nur 10—30 % der Austern einer Bank gleichzeitig trächtig.

(Ostrea V. VII. XII, Anomia ephippium VI, Lima hians VIII, Mactra helvacea IV, Pecten IV, Tapes aureus V, Venus V, in V und VI zahlreiche planktonische Muschellarven von $^1/_2$—1 mm.)

Die Schnecken fixieren ihre Eierpakete in Schnüren oder Trauben an Fremdkörper, manches rätselhafte Fossil mag solchen Ursprungs sein. Buccinum undatum legt 8 cm lange, kleine lederartige Beutel mit je

1) In Klammern sind die Beobachtungen von Lobianco über die Fortpflanzungsmonate der verschiedenen Bewohner des Golfs von Neapel eingeschaltet.

600—800 Eiern; eine Eischnur von Acera enthält 1000 Eier, eine Doris legte ein aus 600 000 Eiern bestehendes Band.

Auch die Eier der Cephalopoden sind meist durch eine lederartige Haut geschützt (Sepia XII—VII, Octopus V—VI, Loligo XII—VII). Das Weibchen von Arganauta bildet eine zarte, ungekammerte Schale, zum Schutz der zahlreichen Eier (V—VII).

Die Entwicklung der Goniatiten und Ammoniten erfolgte wahrscheinlich in der Wohnkammer; also muß auch eine Paarung vorausgegangen sein. Eine Oppelia enthielt 60 Junge.

Die Fruchtbarkeit mancher Krebse ist ganz erstaunlich. Eine Daphnia kann in 50 Tagen 1 291 370 075 Personen erzeugen; ein Copepode kann sich in einem Jahr auf 4442 Millionen vermehren. Astacus produziert jährlich 200, Homarus 12 000, Carcinus maenas 3 Millionen Eier.

Besonderes Interesse verdienen die Jugendformen der Trilobiten. Die Eier findet man als kleine, meist schwarze Kügelchen von $^{2}/_{8}$ bis 5 mm Durchmesser. Die größeren Eier sind selten und vereinzelt, die kleineren liegen gehäuft; die Eischale war elastisch. Das ausschlüpfende Junge hatte die Größe der Eischale und unterscheidet sich nach seiner Form sehr wesentlich von den erwachsenen Individuen. In der Regel überwiegt das Kopfschild den Rumpf so sehr an Größe, daß man sich nicht wundern kann, wenn die allerjüngsten Stadien von Sao und von Olenellus überhaupt nur aus einem runden Kopfschild bestehen. Dasselbe zeigt bei Olenellus eine fünfgliederige Glabella und zwei lyraförmig zurückgebogene Dornen am zweiten Segment.

Die Eizahl der Fische ist sehr verschieden. Die Forelle legt 500—2000, der marine Hering 40 000, Accipenser huso, dessen Leben sich in abflußlosen Gebieten abspielt, drei Millionen Eier. Andere Fische erzeugen nur wenige Eier: Torpedo zweimal 2—6, Squalus catulus zweimal 9—13, Anableps 50, Sygnathus 150—180; hier findet die Befruchtung innerhalb der Mutter statt und die Jugendformen sind wohlgeschützt.

Bei den Amphibien beobachtet man meist eine geringe Nachkommenzahl. Salamandra bringt je nach seinem Alter 8—40 kleine Larven mit äußeren Kiemen zur Welt. Triton legt im Laufe eines Jahres etwa 300 Eier an Wasserpflanzen.

Die Reptilien legen beschalte Eier: Lacata 5—8, Chamaeleo bis 37, Landschlangen 5 bis 40. Die Landschildkröten produzieren 5—15, Flußschildkröten 20—30, Seeschildkröten 100—180 Eier. Die große Zahl von Schildkröten im oberen Jura von Solothurn dürfte mit ihrer Eiablage zusammengehangen haben. Die im Leibe von Ichthyosaurus beobachteten 1—11 Jungen sind 4—24 cm lang und liegen nach Branca so oft in Steißgeburtslage, daß man an gefressene Exemplare denken könnte, wenn nicht ein gebogener Eileiter mit einer Reihe von Jungen in der Leibeshöhle zusammengepreßt und vorgelagert worden ist.

Unter den Vögeln legen die Seevögel jährlich meist nur ein Ei und trotzdem ist ihre Schar so riesengroß. Die großen Raubvögel legen 2, kleinere Singvögel 4—14 Eier.

Unter den Säugetieren interessieren den Paläontologen besonders die eierlegenden Ursäuger, wegen ihrer Beziehungen zu den mittelzeitlichen Allotheria. Echidna legt ein, Ornithorhynchus zwei weichschalige Eier. Auch die größeren Beuteltiere gebären jährlich nur ein Junges, das sie acht Monate lang in ihrem Marsupium herumtragen; kleinere Beutler bringen 6—14 Junge zur Welt.

Die größte Fruchtbarkeit besitzen die Nagetiere. Ein einziges Kaninchenpaar kann sich in vier Jahren auf 1 274 840 Stück vermehren. Elephas und Rhinoceros gebären alle zwei bis drei Jahre ein Junges. Ein Elefantenweibchen, das mit 16 Jahren reif wird (das Männchen mit 30 Jahren), bleibt bis zum 90. Jahre fruchtbar.

L. Schultze-Jena bezeichnet das Gewicht der jährlichen Nachkommenschaft verglichen mit dem Gewicht der Muttertiere, reduziert auf 100, als relative Fruchtbarkeit. Sie unterliegt großen Schwankungen:

	Zahl der jährlichen Nachkommen	Gewicht des Muttertieres g	Gewicht des einzelnen Nachkommen g	Gewicht der gesamten Nachkommen g	Relative Fruchtbarkeit
Flußkrebs	150	20	0,01	1,5	8
Octopus	400	420	0,1	40	10
Frosch	2 800	52	0,003	8	15,5
Kuh	1	175 000	35 000	35 000	20
Hering	47 000	164	0,0008	37	23
Gartenschnecke	56	29	0,23	12,9	45
Heuschrecke	150	2	0,01	1,5	75
Wachtel	14	93	8,7	122	120
Taube	14	350	18,5	259	74
Ringelnatter	30	330	5	150	45,5
Kreuzspinne	1 600	0,5	0,0006	1	200
Maus	35	20	1,7	59	295
Legehuhn	100	900	44	4 400	500
Mensch	1	55 000	4 000	4 000	7,3

Unter dem embryonalen Bedürfnis versteht er das Gewicht eines einzigen Nachkommen verglichen mit dem Gewicht des Muttertieres, reduziert auf 100. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über den Durchschnitt bei

Knochenfischen	0,35
Amphibien	0,6
Reptilien	6—7
Vögeln	9—12
Säugetieren	10—15

Je größer die Zahl ihrer Nachkommen ist, desto rascher würde jede Art den ihr günstigen Lebensraum besiedeln und sogar andere Lebensgenossen verdrängen können, wenn nicht zahllose zerstörende Umstände die Jugendformen beständig vernichteten. Diese Auslese der Passenden, meist „Kampf ums Dasein" genannt, haben DARWIN und HAECKEL zuerst in ihrer ganzen biologischen Tragweite erkannt und nicht nur die Erhaltung der Arten, sondern auch die Artwechsel darauf zurückgeführt. Wenn wir auch diese letztere Auffassung nicht teilen, so gilt doch der Satz, daß die Zahl der lebensfähigen Nachkommen und die Stärke der feindlichen Umstände bestimmend sind für die Zahl der erwachsenen und wieder geschlechtsreif werdenden Personen. Je schwieriger die Lebensbedingungen sind oder werden, desto mehr Kinder müssen erzeugt, desto bessere Schutzeinrichtungen getroffen werden, um die Art am Leben zu erhalten.

Vom paläontologischen Standpunkt dürfen wir die Macht der auslesenden Faktoren nicht zu hoch einschätzen, denn die Länge der geologischen Zeiträume und die Möglichkeit, nach entfernten Gebieten gleicher Fazies auszuwandern, bietet den mit freibeweglichen Jugendformen versehen Arten so viele Auswege, sich eine neue Existenz zu schaffen, daß im allgemeinen die Arten nur aussterben, wenn ihre Fortpflanzungsfähigkeit vermindert wird. Das Auftreten vereinzelter Vorposten oder größerer Kolonien außerhalb des eigentlichen Heimatbezirks und besonders die Wiederkehr derselben Art, wenn im fortlaufenden Profil dieselbe Gesteinsfazies wieder erscheint, bietet gute Belege für diese Auffassung.

Da jede fossilführende Schicht ein Leichenfeld darstellt, müssen wir die Körpergröße eines Fossils als den Ausdruck seiner individuellen Lebensdauer betrachten. Eine nur aus großen ausgewachsenen Exemplaren bestehende Fauna ist eines natürlichen Todes gestorben, alle kleineren Personen haben ein früheres Lebensende gefunden. Sind also große und kleine Exemplare derselben Art miteinander gemischt, dann haben dauernd die lebensfeindlichen Umstände geherrscht und es erfolgte ununterbrochen eine scharfe Auslese; sind große und kleine schichtenweise übereinander geordnet, dann traten diese periodisch auf; finden wir aber nur kleine „Zwergformen", dann wurde eine Jugendgeneration vernichtet; viele Zwergfaunen sind nur „Kinderfriedhöfe".

Bei der Untersuchung solcher Jugendformen muß man stets im Auge behalten, daß der Zoologe meist die Entwicklung desselben Individuums verfolgen kann, während das paläontologische Material aus gleichzeitig oder nacheinander gestorbenen, verschiedenen Personen besteht.

Das Bild einer fossilen Fauna wird besonders dadurch verändert, daß neben den bodenständigen Arten auch heimatlose Fremdlinge (Graptolithen, Hyolithen, Cephalopoden) auftreten, deren Körpergröße von

anderen Umständen bedingt sein kann. Daher muß solchen Betrachtungen eine strenge bionomische Sonderung der Lebensformen vorausgehen.

Häufig finden wir meroplanktonische Jugendformen im lebensfeindlichen Schlamm trüber Halistasen. Berühmt war ein Fundort im Kambrium bei Skrey, wo Barrande alle Entwicklungsstadien von Sao vom hirsekorngroßen Ei beschrieb. Heute findet man keine Spur derselben mehr; es muß also ein engumschriebenes Leichenfeld gewesen sein. Viele Devonschiefer sind durch kleine Fossilien ausgezeichnet, die in dem H_2S reichen Schlamm ein frühes Ende gefunden haben. Weigelt beobachtete im Kulmschiefer des Oberharzes zahlreiche Goniatiten, deren Wohnkammer mit Brut erfüllt war und einzelne Zwischenschichten waren mit jugendlichen Schalen ganz durchsetzt.

Im Kulmschiefer des Oberharzes sammelte derselbe Tausende von Posidonomya Becheri in allen Stadien der Entwicklung, regellos durcheinanderliegend oder nach Individualgröße geordnet und konnte vollständige Altersreihen derselben zusammenstellen. Durch die Wasserbewegung wurden die Embryonalschalen so angereichert, daß sie ganze Kalklinsen erfüllen und ihre veränderliche Gestalt läßt den Einfluß ungünstiger Lebensbedingungen erkennen.

Aus dem rotliegenden Kalk von Niederhäßlich beschrieb Credner Branchiosaurus in allen Entwicklungsstadien von der kiementragenden Larve bis zum luftatmenden fußgroßen Salamander. Hier hat die Eindampfung eines kleinen kalkhaltigen Seebeckens alle diese verschiedenen Entwicklungsreihen tödlich unterbrochen.

Die Seltenheit von großen Palaeoniscus ebenso wie von Jugendformen und die Häufigkeit von mittelgroßen P. Freieslebeni, besonders in einer von Eisleben nach Mansfeld reichenden Randzone des Kupferschieferbeckens deutet auf ganz besondere Umstände während der Bildung der schwarzen, erzführenden Lettenschicht: Von den letzten verwitternden Bergzügen des varistischen Faltenlandes überragt, dehnte sich eine weite schuttbedeckte Niederung, in welche nur an wenigen Stellen das ferne Zechsteinmeer in schmalen Rinnen mit seiner Cancrini-Fauna eingedrungen war. Ullmannia-Oasen, kleine von Fischen belebte Seen waren über das rote Wüstenland zerstreut, dessen regenwarmes Klima durch schräggeschichtete Sanddünen (Weißliegendes), sandgeschliffene Dreikanter und lokale Schuttkegel gekennzeichnet wird. Langandauernde Verwitterung hatte die Berge mit mächtigen Verwitterungsdecken überzogen, und darin waren die bei der Zersetzung von Erzkörpern (Brockenkontakthof, Rammelsberg) entstandenen, leicht löslichen Metallverbindungen fein verteilt.

Eine heftige Regenperiode hob die Verwitterungsmassen ab, löste die darin ausgeschiedenen Metallsalze wieder auf, zerstörte die Vegetation der Täler und Oasen zu schwarzem Moder und nahm die Fischfauna der Seen mit sich nach der Niederung, wo das Wasser einen flachen See

bildet, dessen Ufer mit kleinen Rippelmarken bedeckt war und dessen Spiegel die (später von Kalkriffen besiedelten) etwa 10 m hohen Schieferklippen nicht überflutet haben kann.

So fanden wenige Mutterfische einen weiten Lebensraum, in dem sie sich rasch vermehren konnten. Wenn wir feststellen könnten, in wieviel Jahren ein Palaeoniscus 15 oder 20 cm groß wurde, könnte man die Lebensdauer dieses Seebeckens berechnen. Denn bald wurde es durch Verdunstung eingeengt, sein Spiegel sank und die gelösten Metallsalze wurden so konzentriert, daß sie zunächst die Fischbrut, endlich auch die erwachsenen Fische töteten. Proterosaurus kamen räuberisch vom nahen Festland, um sich an den Fischen zu mästen, doch gingen auch viele von ihnen zugrunde und so wurden die vereinzelten marinen Überreste der Cancrini-Fauna mit den Fischschwärmen der Binnenseen und den Raubtieren der umgebenden Wüste in dem schwarzen Schlamm begraben. J. Freygang erkannte zuerst, daß die gekrümmten Fische nicht auf der Seite, sondern meist auf dem Bauche liegen und ihr Schuppenkleid von der Rückenlinie auseinandergeglitten sein muß.

Die größte Rolle spielen die meroplanktonischen, freibeweglichen Larven bei den Organismen des Meeres und die befruchteten Eier sind während ihres Larvenlebens von den passiven Bewegungen des Meeres so abhängig und in der Regel so wenig gegen Feinde geschützt, daß ihre weiteren Schicksale mehr von hydrographischen und geologischen als von biologischen Umständen abhängen.

Sie mischen sich mit den zahllosen planktonischen Pflanzen und Tieren der Hochsee und bilden mit ihnen die wichtigste Nahrungsquelle für andere Tiere. Von den Millionen Larven, die von einem Laichplatz ausgehen, gelangen nur wenige bis zu einem fernen Siedelungsplatz, der ähnliche bionomische Umstände bietet wie der heimatliche Standort.

Aber gerade weil in jedem Jahr so unübersehbare Schwärme kleiner meroplanktonischer Larven durch alle Räume des Meeres bewegt werden, wird hierdurch jeder ferne, günstige Lebensort erreicht und besiedelt. Die Verteilung der Fossilien in marinen Gesteinen zeigt uns auf jeden Schritt die Bedeutung dieses Vorganges, und fast in jedem Profil können wir das sprunghafte, unterbrochene Auftreten vereinzelter Irrgäste oder ganzer Faunen beobachten.

Die oft in großer Zahl zwischen erwachsenen Fossilien auftretenden Jugendformen haben schon längst die Aufmerksamkeit der Sammler erregt und J. G. Bornemann hat in musterhafter Weise solche Entwicklungsreihen schon vor langen Jahren zusammengestellt, die sich im geologischen Museum zu Halle befinden. Neuerdings hat man auch in mehreren Fällen begonnen, die Entwicklung einzelner fossiler Arten von kleinen Jugendformen bis zu großen erwachsenen Exemplaren methodisch zu verfolgen. Aber bei solchen paläontologischen Arbeiten muß man be-

rücksichtigen, daß die fossilen Jugendformen zu ganz verschiedenen Exemplaren gehören, von denen das eine früher, das andere später abstarb und nun mit älteren oder jüngeren Brüdern vereint in demselben Grabe liegt.

Das von Haeckel aufgestellte „biogenetische Grundgesetz“ besagt, daß jede lebende Tierform bei ihrer Keimesentwicklung in kurzen Schritten die Entwicklungsstadien wiederholt, welche ihre fossilen Vorfahren im Laufe der Erdgeschichte durchgemacht haben. Aber schon Haeckel hat nachdrücklich darauf hingewiesen, wie leicht diese ontogenetischen Dokumente durch nachträgliche Störungen gefälscht sein können. Um so wichtiger ist es, daß das paläontologische Tatsachenmaterial eine so vorzügliche Kontrolle für eine rein ontogenetische Betrachtung bietet. Der Fund der Archäopteryx ist ein glänzendes Beispiel dafür, wie das Studium der vergleichenden Anatomie und Keimesentwicklung der rezenten Vögel zu demselben Ergebnis führen mußte, wie die paläontologische Beobachtung. Das Trilobitenstadium des rezenten Limulus bestätigt die geologische Erfahrung, daß die Limuliden aus Trilobitenahnen schon im Karbon entstanden sind.

Wohl aber zeigt die Entwicklung von Agnostus, wo sich zwischen Kopf und Schwanzschild zwei Körperringe einschieben, daß sie in scharfem Gegensatz steht zu der Entwicklung einer Sao, wo sich der Hinterleib terminal verlängert. Die Bedeutung des so stark verlängerten dritten Pleura an kambrischen Trilobiten (Parodoxidus, Olenellus, Albertella) bedarf noch der Untersuchung.

In vielen Fällen ergibt die paläontologische Urkunde ein völlig anderes Resultat als eine nur spekulative Betrachtung der rezenten Formen und ihrer Embryonalentwicklung. Wir müssen daher bei fossilen Entwicklungsreihen mit scharfer Kritik an die Tatsachen herangehen und werden z. B. die Sicula der Graptoliten nicht als die Schalenform ihrer Ahnen auffassen dürfen.

Die festländische Lebewelt hat in Anpassung an völlig neue Bedingungen auch die Formen ihrer Fortpflanzung verändert und bei den Insekten, Vögeln und Säugern hat sie so eigenartige, wohlbekannte Formen angenommen, daß von einer Schilderung derselben hier Abstand genommen werden kann. Nur die Verbreitung der Sporen bei den Kryptogamen, der Pollen bei den Koniferen und der Samen vieler Blütenpflanzen durch den Wind erinnert uns an das Meroplankton des Meeres.

Seit dem Tertiär haben samen- und körnerfressende Tiere die verfrachtende Rolle übernommen und tragen dieselbe Flora von Standort zu Standort, so daß seither auch auf dem Festland unter gleichen Lebensbedingungen die gleiche Flora auftritt und gedeihen kann. Aber manche Tatsachen in der Verbreitung mittelzeitlicher Pflanzen mögen damit zusammenhängen, daß diese Landtiere damals fehlten.

Die Flußrinnen. deren erdgeschichtliche Bedeutung bei der Einwanderung der Meerestiere nach dem Festland früher geschildert wurde, bieten noch heute für aktiv schwimmende Fische Gelegenheit zu weiten Wanderungen, um ruhige, sichere Laichplätze aufzusuchen, die im Meere so schwer zu finden sind. Daß hierbei leicht auch Wasserscheiden überschritten und periodisch abflußlose Gebiete erreicht werden können, lehrt uns die Fischfauna so manchen Seebeckens in Innerasien. Wir werden daher auch das vereinzelte und sprunghafte Auftreten von Fischen im rotliegenden Buntsandstein oder Keuper auf ähnliche Wanderungen zurückführen müssen.

Es ist ganz auffallend, wie zäh gerade die Vorgänge der Fortpflanzung und die damit zusammenhängenden morphologischen Einrichtungen vererbt werden. Wie ein Wunder erscheint es uns, daß die heutigen Amphibien noch dasselbe Wasserlarvenstadium durchleben, wie ihre permischen Vorfahren, daß so viele rezente Insekten noch jetzt ihre Eier ins Wasser legen und darin entwickeln. Genau in derselben Weise entwickelten sich nach Scudder schon die devonischen Insekten im Wasser. Wir dürfen daher alle besonders lang vererbten Eigenschaften fossiler Formenkreise mit großer Wahrscheinlichkeit als solche betrachten, die direkt oder indirekt mit der Vermehrung zusammenhängen.

Literatur

Abel, O., Die Milchmolaren der Sirenen. N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont. Jahrg. 1906, Bd. II, S. 50—60. — Agassiz, A., Developpement Palaeontologique et Embryologique. Ass. Améric. pour l'avanc. des sciences 1881. — Appelöf, A., Die Schalen von Sepia, Spirula und Nautilus. Kongl. Svenska Vetensk. Handl. XXV, 1893. — Bather, F. A., On Uintacrinus: a Morphological Study. Repr. from the Proceedings of the Zool. Society of London, Vol. 1895, pp. 974—1004. — Borissjak, A., Über die Embryonalschalen der Pelecypoden aus den Spaniodontschichten im Kaukasus. Annuaire géolog. et min. de la Russie, 1909, S. 40. — Branca, W., Nachtrag zur Embryonenfrage bei Ichthyosaurus. Sitzungsb. d. Pr. Akad. d. Wissensch. phys.-math. Kl. 1908, S. 392. — Branca, W., Sind alle im Innern von Ichthyosauren liegenden Jungen ausnahmslos Embryonen? Abhandl. d. Pr. Akad. d. Wissensch. 1908. — Brown, Th. Cl., Developmental stages in Streptelasma rectum. Americ. Journ. Sec. 23, 1907. — Brown, Th. Cl., Studies on the morphology and development of certain rugosa corals. Annals New York Acad. of Sc. Bd. XIX, No. 3, 1909. — Clarke, J. M., The Protoconch of Orthoceras. Americ. Geologist Bd. XII, 1893 und in Naples Fauna in Western New York, 6. Anual Rep. State Geol. 98, Tafel 9. — Conn, H. W., Marine Larvae and their Relation to Adults. Studies of the Biological Laboratory of John Hopkins University Bd. III, S. 165—192, 1885. — Credner, H., Die Stegocephalen aus dem Rotliegenden des Plauenschen Grundes bei Dresden. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Gesellsch. 1886, S. 575. — Cumings, E. R, The Morphogenesis of Platystrophia, a Study of the Evolution of a Palezoic Brachiopod. Americ. Journal of Science Vol. XV, 1903, S. 1—48 u. 121—136. — Cumings, E. R., Development of Some Paleozoic Bryozoa. Americ. Journal of Science Vol. XVII, 1904, S 49. — Dohrn, A., Zur Embryologie und Morphologie des Limulus polyphemus. Jenaisch. Zeitschr. f. Med. u. Naturw. 1871, VI. — Fischel, A., Über Variabilität und Wachstum des embryonalen Körpers. Morphol. Jahrb. 1896. — Fischer, H., Über ein Vorkommen von Jugendformen des Ceratites compressus (Sandb.)

E. Phil. bei Würzburg. Geognost. Jahresh. 1916, XIX. Jahrg., S. 187. — Fraas, E., Nr. 77, Embryonaler Ichthyosaurus mit Hautbekleidung. Jahresh. d. Ver. f. vaterl. Naturk. i. Württ. 1911, S. 480. — Grabau, A. W., Paleontology and Ontogeny. Popular Science Monthly 1910, S. 295. — Grabau, A. W., Studies of Gastropoda IV, Value of the Protoconch and Early Conch Stages in the Classification of Gastropoda. Sev. Intern. Zool. Congr. Proceed. Boston 1907 Advance sheets 1910. — Haeckel, E., Generelle Morphologie 1870, Bd. III. — Janensch, W., Über die Jugendentwicklung von Rhabdoceras Suessi v. Hauer. Zentralbl. f. Min. usw. Jahrg. 1906, Nr. 22, S. 710—716. — Joubin, L., Les larves et les métamorphoses des animaux marins. Bull. Musée ozéan. de Monaco No. 58. — Karpinsky, A., Über die Eocambrische Cephalopodengattung Volborthella Schmidt. Verhandl. d. Russ. Kais. Min. Gesellsch. z. St. Petersburg Bd. XLI, Lief. 1, 1903, S. 31. — v. Koch, G., Die ungeschlechtliche Vermehrung der paläoz. Korallen. Paläontographica 1883, Bd. XXIX. — Lillie and Knowlton, On the effect of temperature on the development of animals. Zool. Bull. I, 1898. — Lindström, G., The Ascoceratidae and the Lituitidae. K. S. Vet. Acad. Stockholm 1890, Nr. 12. — Michael, R., Über Ammonitenbrut mit Aptychen in der Wohnkammer von Oppelia steraspis Oppel sp. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Gesellsch. Jahrg. 1894, Heft 4, S. 697. — Pocta, Ph., Neues über Graptolithen. Aus d. Sitzungsb. d. Kgl. Böhm. Ges. d. Wissensch., Prag 1907. — Rüdemann, R., On the mode of growth and development of the Graptolithic Genus Diplograptus. Amer. Journ. of Sc. ser. III, Bd. 49, 1895 und 14. Report of the State Geologist of New York for 1894. — Rüdemann, R., Structure of some primitive Cephalopods. Report of the New York State Paleontologist 1903, S. 296. — Schmidt, H., Die Fruchtbarkeit in der Tierwelt. Zeitschr. f. Sozialwissenschaft Bd. V, Heft 5—7, 1902, S. 425, 515 u. 588. — Schubert, R., Über die Gültigkeit des biogenetischen Grundgesetzes bei den Foraminiferen. Zentralbl. f. Min. usw. Bd. XIII, 1913. — Schuchert, Classification of the Brachiopoda. Americ. Geologist 1893, 141. — Solger, F., Über den Zusammenhaug zwischen der Lobenbildung und der Lebensweise bei einigen Ammoniten. Aus d. Verh. d. V. Intern. Zool. Kongr. z. Berlin 1901. — Springer, F., Uintacrinus: its Structure and Relations. Memoirs of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College Vol. XXV, No. 1, 1901. — Weigelt, J., Die Gliederung und die Faunenverteilung im Unteren Culm des Oberharzes. Aus d. Jahrb. d. Kgl. Pr. Geol. Landesanst. Bd. XXXVII, Teil II, Heft 2, 1916. S. 157. — Wiedersheim, R., Brutpflege bei niederen Wirbeltieren. Biol. Zentralbl. 20, 1900. — Wiman, C., Über die Graptolithen. Bull. of the Geol. Inst. of Upsala No. 4, Vol. II, Part 2, 1895. Über Dictyonema cavernosum, ibid. 1897.

30. Einzelwesen und Stockbildung

In der rezenten Organismenwelt lassen sich, wie E. Haeckel zuerst erkannt hat, die einzelligen Protozoen von den mehrzelligen, aus Zellgeweben zusammengesetzten Metazoen (und Metaphyten) leicht unterscheiden. Dieser Gegensatz beherrscht auch die gesamte fossile Lebewelt seit dem Kambrium, und wenn es eine Zeit gegeben hat, wo die Erde nur von einzelligen Wesen bevölkert war, so muß diese weit unter der Grenze der Fossilführung liegen.

Wenn einzellige Protisten in Teilstücke zerfallen, dann vermehrt sich gleichzeitig die Zahl der Personen, wenn sich aber die Zellen der Metazoen teilen, dann bleiben die Tochterzellen zusammen und bilden die verschiedenen Gewebe der bis zu einer bestimmten Größe wachsenden

Individuen. Erst wenn diese, durch Selbstregulierung bestimmte, Körpergröße erreicht ist, werden weitere Teilprodukte der sich vermehrenden Gewebezellen zur Bildung von Fortpflanzungsprodukten verwendet.

Die Jugendformen können ebenso wie die Erwachsenen räumlich vereint als Algenrasen, Muschelbänke, meroplanktonische Larven- oder Insektenschwärme, Fischzüge, Vogelschwärme oder Säugetierherden gemeinsam leben und wandern, aber diese Lebensgenossenschaften können sich leicht trennen und ihre Personen werden bis zum Tode oft über einen weiten Fundraum verstreut.

Selbst wenn solche Kolonien, Schwärme und Herden, wie von einem einzigen Willen geleitet, sich bewegen, nähren, ruhen oder wandern, so hat doch jede Person ihren eigenen Stoffwechsel, und nur bei manchen Formen der Brutpflege wird die von dem einen Individuum aufgenommene Nahrung auch zur Ernährung anderer verwendet.

Grundverschieden hiervon ist die Lebensweise der Tiergruppen, die man als Stöcke bezeichnet.

Durch Teilung oder Knospung entstehen hier neue Generationen, die mit der älteren untrennbar verbunden bleiben, und nicht nur räumlich deren Schicksal teilen, sondern auch mit ihm einen gemeinsamen Stoffwechsel besitzen. Die Nahrung der zum Fressen geeigneten Person kommt dem ganzen Stock zugute, die Bewegung der mit einer kräftigen Muskulatur versehenen Teilpersonen überträgt sich auf die ganze Gruppe und die nervöse Regulierung dieser Einrichtungen setzt physiologisch sehr verwickelte Wechselbeziehungen voraus.

Alle stockbildenden Tiere sind Wasserbewohner und gehören entweder zum treibenden Plankton oder zum festgewachsenen Benthos. Gemeinsam ist ihnen die Fähigkeit der Knospung und die oft sehr weitgehende funktionelle Differenzierung der Personen an demselben Stock. Neben der ungeschlechtlichen Vermehrung durch Teilung oder Knospung, die den Stock vergrößert, dient die geschlechtliche Fortpflanzung, um die Art zu verbreiten und neue Wohnplätze zu erobern.

Das Wachstum der Stöcke wird zwar von den mechanischen Bedingungen der besonderen Lebensweise beherrscht, zeigt aber doch nicht jene regelmäßigen Gesetze, welche die Form einer wachsenden Person bestimmen. Daher kann eine systematische Einordnung stockbildender Tiere in der Regel nicht nach dem äußeren Körperumriß ausgeführt werden.

Solange man die fossilen und rezenten Spongien nur nach ihrer äußeren Form bestimmte, blieb ihre Systematik unvollkommen, und erst als Sollas und Zittel die Gestalt der Skelettnadeln systematisch verwerteten, wurde eine natürliche Sonderung der Formen möglich. So enthalten auch die stockförmig wachsenden Korallengattungen zahlreiche Arten von ganz verschiedener äußerer Form trotz Übereinstimmung in Bau und Anordnung der einzelnen Polypen.

Unter günstigen Lebensbedingungen wachsen manche Tierstöcke zu riesigen Dimensionen heran. Im Roten Meer beobachtete ich Schirme der Madrepora corymbosa von 2—3 m Durchmesser und in der Palksstraße sah ich Poritesstöcke, welche 2 m hoch und 3 m im Durchmesser wie Türme im Strandriff eingefügt waren. Auch die Stromarien der Altzeit wuchsen oft zu riesigen Stöcken heran, wie uns die in zuckerkörnigen Kalk zerfallenen Felsen im Obersilur von Gotland, Mitteldevon der Eifel oder Zechstein des Orlagaues lehren.

Die Geschwindigkeit, mit der bei einfacher Teilung der Personen und durch das Wachstum des sie verbindenden Cönenchyms Riffkorallen sich vergrößern, ist erstaunlich. Eine Pocillopora, die auf einem Kabel von Java nach Sumatra in fünf Jahren etwa 8 cm hoch und 10 cm breit geworden war, zählt über 9000 Kelche und die vor 15 und 10 Jahren erbauten Eisengerüste der Landungsbrücke im Krater von Sabang (Nordsumatra) fand ich mit zahlreichen weichen oder verkalkten Korallenstöcken bewachsen, die ein durchschnittliches Wachstum von 1 cm im Jahr erkennen ließen. Bei Schilderung der Kalkriffe sind die geologischen Wirkungen dieser auf genossenschaftlicher Ernährung beruhenden Vorgänge schon gewürdigt worden.

Benthonische Stöcke finden wir heute bei den Hydroidea. Obelaria und Campanularia sind verzweigt gefiedert, Plumularia und Sertularia zweireihig gefiedert, Hydractinia krustenförmig wachsend, Stylaster und Millepora stark verkalkt unregelmäßig verästelte Platten bildend.

Bei den Hexacoralla unterscheiden wir verzweigt aufrechtstehende Stämme (Dendrophyllia, Stylophora, Madrepora), kleinästige Schirme (Madrepora, Pocillopora), Krusten (Isastraea, Latimaeandra) und kugelig wachsende Massen (viele Astraeiden, Poritiden und Maeandrinen).

In tieferem, ruhigem Wasser (aber keineswegs in der eigentlichen Tiefsee) wachsen auch viele Einzelkorallen.

Die hornigen Antipatharia, die oftmals mit nicht verwachsenen kalkigen Skleriten gespickten Alcyoniden und die als verästelte Stämme wachsenden oder aus netzförmig verbundenen Zweigen gebildeten großen hornigen Platten der Gorgoniden haben eine gewisse Ähnlichkeit mit den noch zu schildernden Graptolithiden. Die Pennatuliden bilden meist federförmig verzweigte Stöcke, die mit ihrem Stiel lose im Sediment stecken, während Corallium rotverkalkte Äste bildet und mit breiter Wurzel auf hartem Untergrund aufgewachsen ist.

Die Spongien wachsen auf festem Boden als Krusten, Kugeln, Platten, Schläuche, verästelte Gebilde oder weit geöffneten Becher und sind wegen ihrer so leicht wechselnden Gestalt als Amorphozoen bekannt. Manche fossile Gattungen haben merkwürdigerweise eine nur wenig variierende Körpergestalt, so die silurischen Astylospongia, Aulocopium und Hindia, dann aus der Jurazeit Cnemidiastrum und besonders viele

Hexactinelliden (wie Hydnocorus, Tremadictyum, Pachyteichisma und besonders Coeloptychium).

Die Bryozoen bilden kleine, vielgestaltige Stöcke, mit der einzigen Ausnahme von Loxosoma.

Endlich finden wir viele benthonische Stöcke bei den mit den Wirbeltieren verwandten Ascidien, während bei Echinodermen, Mollusken, Brachiopoden und Arthropoden, trotzdem in diesen Gruppen die festsitzende Lebensweise immer wieder aufgetreten ist, niemals Stöcke gebildet werden.

Zu diesen Formen treten nun eine Anzahl nur fossil bekannter und meist auf die Altzeit beschränkter Gruppen, die wegen ihrer Stockbildung mit der einen oder anderen genannten rezenten Familie systematisch verknüpft worden sind. Es handelt sich aber hierbei um Formenkreise, die auf eine ganz bestimmte geologische Zeitdauer beschränkt und dann ohne Nachkommen ausgestorben sind (sofern man nicht die aus geologischen wie histologischen Gründen unmögliche Annahme macht, daß sie ihre Fähigkeit, Kalk oder Kiesel abzuscheiden, verloren haben und „Weichtiere“ geworden sind).

Die von J. Bornemann zuerst beschriebene Protopharetra vertritt wohl die ältesten riffbildenden Stöcke. Die in ästigen Gebilden wachsende Gattung zeigt ein spongiöses Gewebe, doch keinerlei Kanalsystem oder Oscula, so daß an eine Verwandtschaft mit den Spongien nicht gedacht werden kann. Ihre Häufigkeit im Kambrium von Sardinien zeigt, daß sie im damaligen Meer eine große biologische Rolle gespielt hat.

Eine ebenso seltsame wie viel umstrittene Gruppe sind die Stromarien (Stromatoporiden), die als Kalkbildner in der Altzeit eine beherrschende Rolle spielen. Zarte Kalkblätter mit warziger (Labechia) oder stachelbesetzter (Stromatopora) Oberfläche legen sich so dicht aufeinander, daß sie Rinden, warzige Knollen und riesige Riffe bilden, die rasch in erdigen Kalk zerfallen und bei der folgenden diagenetischen Eindichtung meist zuckerkörnige Kalke oder Dolomite bilden, an denen man nur bei besonders gut beleuchteten, angewitterten Flächen das einstige Gewebe erkennen kann.

Schon der algonkische Birikalk zeigt Spuren einer ähnlichen Struktur, dann ist sie im Silur und Devon weitverbreitet, im Karbon oft zu erkennen, tritt uns in der Esinospongia Schubarthi der thüringischen Zechsteinriffe überall entgegen, wittert hier gelegentlich in großen blätterigen, grobwarzigen Knollen heraus, wurde im Röth bei Jena beobachtet, tritt in den alpinen Triaskalken gelegentlich auf, bildet mit Ellipsactinia und Sphaeractinia große Kalkmassen der Jura- und Kreidezeit und soll nach Carter in der lebenden Hydractinia einen kalkigen Nachkommen haben. Bei den altzeitlichen Gattungen spricht aber das Auftreten der sehr bezeichnenden Astrorhizen für eine gesonderte Stellung

im System. Jedenfalls sind es stockbildende Tiere gewesen, die krustenförmig wachsend besonders in der Altzeit weitverbreitet waren.

Altzeitlich sind auch die nicht minder problematischen Tabulata. Ihr Vorkommen mitten zwischen Einzelkorallen und Korallenstöcken und ihre in Anpassung an eine festsitzende Lebensweise erworbenen Querböden in den oft 10 – 30 cm langen Kalkröhren, die meist zu kugeligen Stöcken vereint sind, haben ältere Autoren veranlaßt, sie mit den Tetrakorallen zu vereinen. Kleine oder größere Poren in den Röhrenwänden sprechen für eine physiologische Verbindung der einzelnen Personen zum Stock.

Wenn die Stromarien als Bildner der dichten altzeitlichen Massenkalke eine hervorragende Rolle spielen, so überraschen uns die Tabulaten durch ihr so mannigfaltiges Gefüge. Neben der Aulopora, die andere Fossilien mit einem zierlichen Netzwerk überzieht, finden wir die Halysites zu einem System bis 20 cm langer Röhrenplatten vereinigt, zwischen deren Lücken tonige Sedimente festgehalten werden, oder die zu kugeligen Klumpen vereinigten im Querschnitt wie Bienenwaben gestaltete Stöcke von Favosites. Sie leben zwischen den Stromarien oft in so enger biologischer Verbindung, daß Caunopora als ein Beispiel uralter Symbiose betrachtet werden muß und auch Pleurodictyum zeigt eine seltsame Verknüpfung mit einem wurmartigen Tier.

Trotzdem zwischen den Stromarien und Tabulaten die altzeitlichen Tetrakorallen lebten und durch ihre große Zahl dem Sammler zuerst auffallen, besteht keinerlei systematische Verwandtschaft zwischen ihnen. Ja man darf die letzteren nicht einmal als stockbildend bezeichnen. Denn selbst wenn ein Cyathophyllum oder Lithostrotium aus dicht aneinander gedrängten Personen besteht, so ist doch jede einzelne aus der Mutter durch Knospung hervor entstandene Tochterperson ein gesondertes Individuum, dessen Theka keinerlei Durchbohrung erkennen läßt, in denen Nerven oder Blutgefäße verbindende Brücken von einem Kelch zum andern erzeugt hätten. Nur bei einigen Gattungen, wie Phillipsastraea, Darwinia, kommt es schon in der Altzeit zu echter Stockbildung.

Um so weiter ist diese bei den mittel- und neuzeitlichen Hexakorallen verbreitet, und damit hängt es auch zusammen, daß eigentliche Korallenriffe erst seit der Trias eine Rolle spielen.

Die Vermehrung der Riffkorallen innerhalb ihres Heimatgebiets erfolgt vielfach durch abfallende Knospen. Sie sind von Klunzinger bei Balanophyllia beobachtet; auch eine Fungia, die ich in Los Angeles erwarb, zeigt sechs kleine Knospen auf dünnem Stiel.

Es ist möglich, daß auch manche ältere Korallen diese Fähigkeit besaßen. Sonst aber ist die Bildung eines neuen Stockes und die Besiedelung neuer Wohnorte nur mit Hilfe meroplanktonischer Larven möglich, die eine Zeitlang im Wasser umhertreiben, bis sie die günstigen

Faziesbedingungen finden oder zugrunde gehen. Da zur Zeit der Geschlechtsreife Millionen von befruchteten Eiern von einem größeren Stock bis in entlegene Teile desselben Meeres getrieben werden, ist die Möglichkeit gegeben, daß immer wieder jede geeignete Stelle des Meeresgrundes von neuen Stöcken bewachsen wird. Im Hafen von Krakatau fand Treub schon wenige Jahre nach der großen Eruption von 1883 zahlreiche Riffkorallen, und so oft auch die steile Kraterwand einstürzen und die Kalklinsen mit Aschen und Bomben bedecken mag, immer wieder werden sich hier die Riffkorallen ansiedeln und Kalkzungen zwischen Tuffschichten bilden. Erst wenn der letzte Teil der Kraterruine eingeebnet ist, wird eine geschlossene Kalkbank über den wechsellagernden Schichten entstehen.

Die Verbreitung der Riffe, mögen sie durch Stromarien oder Korallen gebaut sein, ist ebenso wie die Frage des Stockwachstums ein biologisches Problem der Ernährung, und hierbei scheint klares lichtreiches, normal gesalzenes Seewasser die wichtigste Rolle zu spielen. Die Höhe der mittleren Temperatur des Wassers ist weniger entscheidend gegenüber der Beständigkeit der Temperatur. Es würden daher Riffe auch im Polarmeer wachsen können, wenn nicht hier die halbjährige Winternacht die Assimilation von Algenzellen, die symbiotisch im Gewebe verteilt sind, verhinderte. Da selbst bei einer allgemeinen Veränderung der Wassertemperaturen die Polargebiete auch in der Vorzeit stets eine halbjährige Nacht besaßen, scheint die Verbreitung von Riffkalken immer auf niedere Breiten zu deuten.

Gegenüber den so weitverbreiteten und wichtigen sessilen Tierstöcken spielen die vagilen Stöcke eine untergeordnete Rolle.

Unter den heutigen Medusen ist die strenge Vierzahl im Bau der Organe ebenso gesetzmäßig wie ihr Einzelleben. Zwar entwickeln sich viele Medusen durch Loslösen von terminalen Knospen an kleinen festsitzenden Stöcken. Aber sie schwimmen dann als Einzelpersonen mit nur einem Magenhohlraum im Wasser. Eine Ausnahme bildet die auf Riffkorallen kriechende kleine Gastroblasta Raffaeli, die einen Medusenstock mit zahlreichen Magen darstellt.

Solche kriechende Medusenstöcke sind im Kambrium weit verbreitet. Brooksella, Laotira und Dactyloidites sind nicht nur wegen ihrer harten Gewebe (Skleromedusen) und ihrer Ernährung durch Aufnahme von Sand und Schlamm merkwürdig, sondern ebenso durch ihre Vielstrahligkeit und Stockbildung auffallend.

Im Jura ist der heutige Typus vierstrahliger Einzelmedusen schon vollkommen ausgebildet.

Unter den rezenten Tiergruppen gibt es auch einige planktonische stockbildende Formenkreise, die Siphonophoren, aus dem Stamm der Coelenteraten, und die mit den Wirbeltieren verwandten Pyrosomen.

Fossile Vertreter dieser Gruppen kennen wir nicht, da ihr Körper so wasserreich und vergänglich ist, daß sie nicht erhaltungsfähig sind.

Aber eine paläontologisch ungemein wichtige Gruppe, die Graptolithen, zeigt so große Analogie in Bau und Lebensweise mit den Siphonophoren, daß manche Autoren sogar an eine Verwandtschaft derselben gedacht haben; aber schon die erdgeschichtliche Verbreitung der Graptolithen spricht gegen eine solche Auffassung. Wie bei den Siphonophoren an einer linearen Achse eine große Zahl von Einzelwesen angeordnet sind und diese selbst wieder in mehrere biologisch ganz verschiedene Gruppen (Schwimm-, Freß- und Geschlechtspolypen) zerfallen, so sind auch bei den eigentlichen Graptoloidea mindestens zwei verschiedene Personenarten an einer zarten Achse (Virgula) angereiht. Unter dem als Schwimm- oder Anheftungsorgan dienenden Basalteil bilden sich zunächst die zur Fortpflanzung dienenden blasenförmigen Geschlechtspersonen (Gonangien). Dann folgen die einreihig oder vielreihig an der Virgula aufgereihten Theken. Die zarten, leicht zerbrechlichen Kolonien hingen frei ins Wasser und wurden in ruhigen Halistasen, an deren Boden kein bodenbewohnendes Tier leben konnte, angehäuft.

Grundverschieden ist die Anordnung der Zellen in den Stöcken der Dendroidea Sie erinnern an die Wachstumsform der benthonischen Gorgoniden und dürften zunächst als sessile Bodenbewohner gelebt haben, bis sie an Tange angeheftet pseudoplanktonisch wurden und nun unter denselben Umständen eingebettet wurden, wie ihre holo-planktonischen Verwandten.

Auch bei ihnen ist ein Dimorphismus von Freß- und Geschlechtspolypen eicht zu erkennen, doch sind dieselben nicht in gesonderten Kränzen angeordnet, sondern regellos miteinander gemischt. Die erdgeschichtliche Verbreitung der Dendroidea vom obersten Kambrium bis zum Karbon gegenüber dem rein silurischen Alter der Graptoloiden läßt deutlich erkennen, daß beide Gruppen auch systematisch scharf gesondert werden müssen.

Literatur

Brandes, Th., Gibt es Hippuritiden, welche durch Knospung Kolonien bilden? N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont. Jahrg. 1909, Bd. I, S. 93—96. — Brown, Th. C., Studies on the Morphology and Development of Certain Rugose Corals. Reprinted from the Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. XIX, No. 3, Part I, pp. 45—97, 1909. — Duerden, J. E., Relationships of the Rugosa (Tetra-Coralla) to the Living Zoantheae. Published with the approbation of the Board of Trustees, Vol. XXI, Nr. 155, Baltimore 1902, S. 19. — Gerth, H., Beiträge zur Phylogenie der Tubocorallier. Zeitschr. f. Induktive Abstammung u. Vererbungslehre, I, 1908, H. 1/2. — Janensch, W., Über Heterocoenia provincialis Mich. sp., eine Hexakoralle vom Habitus der Tubipora Zeitschr. d. Deutsch. geol. Gesellsch. Bd. 55, Jahrg. 1903, S. 466. — Lindström, G., Über Rhizophyllum Gervillei Bayle aus dem Altai. — Ortmann, A., Über bilaterale Anordnung der Septen von Cylicia tenella Dana und die Bedeutung der Bilateralität bei Steinkorallen. Zoolog. Anzeiger Nr. 323, 1889. — Waagen, W., On the Genus Richthofenia, Kays (Anomia Lawrenciana, Koninck). From the Records. Geolog. Survey of India, Vol. XVI. Part 1. 1883, S. 12.

31. Der Ortswechsel

Unter allen Eigenschaften der Organismen ist die Art ihrer Ortsbewegung ebenso wichtig für ihre Lebensweise wie für ihre innere Organisation. Die bionomischen Gegensätze von Plankton, Benthos und Nekton ebenso wie die Gestalt des Körpers und dessen Anfänge stehen im engsten Zusammenhang mit der Lokomotion.

Das einen so großen Teil des Körpergewichts ausmachende Muskelgewebe dient vorwiegend der Bewegung und die Hartgebilde tragen selbst bei niederen Tieren die Ansatzspuren der Muskeln.

Wir unterscheiden vom bionomischen Standpunkt die aktiven von den passiven Bewegungen der Tiere und wollen zuerst die letzteren besprechen. Der passive Ortswechsel beruht darauf, daß die betreffenden Organismen klein oder leicht sind, um den Strömungen ihres Lebenselements oder den aktiven Bewegungen ihrer Wandergenossen folgen zu können. Nur wenige ausgewachsene Tiergruppen werden passiv bewegt, dagegen besitzen die meisten Wassertiere ein meroplanktonisches Jugendstadium, während dessen sie über weite Gebiete ihres Lebensraumes verfrachtet und verstreut werden. Ungeheure Schwärme solcher Eier, Larven und Kleinwesen werden täglich von dem Wohnort ausgeschickt, und gerade das sprunghafte Auftreten der meisten Fossilien im Hangenden einer Gesteinsmasse, in der wir vergeblich nach den Ahnen der betreffenden Formen suchen, ist der Ausdruck dieser universellen passiven Bewegungen der Mikrofauna.

Nach der Art der Wassermengen müssen wir das marine Salzwasser des Meeres von dem limnischen Süßwasser der Flüsse und Schaltseen und dem meist übersalzenen salinischen Wasser der abflußlosen Endseen unterscheiden.

Das Meer, als die gemeinsame Heimat aller übrigen Organismen, wird von einem spezifisch schweren Medium erfüllt, das durch zahlreiche Bewegungen beständig durcheinandergemischt und daher bis zu seinen äußersten Grenzen von einer relativ gleichartig zusammengesetzten Lösung erfüllt wird. Mag auch örtlich oder zeitlich durch einströmendes Flußwasser oder chemische Vorgänge am Meeresgrund vorübergehend eine Änderung in der prozentualen Zusammensetzung eintreten — sie wird rasch wieder ausgeglichen durch die verschiedenen Bewegungsformen des Weltmeeres. Dieselben Wasserbewegungen sind es auch, die alle lokal entstandenen freien Jugendformen ergreifen und im grenzenlosen Ozean verteilen.

Wir unterscheiden den Windstau, der in der Richtung des jeweils herrschenden Windes die Wasseroberfläche in eine gleichsinnige Bewegung versetzt. Zunächst an der Oberschicht beginnend, setzt sich dieselbe durch Reibung auf einer tiefer gelegenen Wasserschicht fort

und kann in flachen Meeresteilen weite Flächen des Grundes entblößen, große Mengen von Organismen zum Absterben bringen und eine Wechsellagerung fossilleerer und fossilreicher Schichten hervorrufen. Unser deutscher Wellenkalk ist ein treffliches Beispiel für eine häufig wiederkehrende Entblößung weiter Flächen.

Das offene Meer und die Hochsee werden von den horizontalen Meeresströmungen bewegt, die durch konstante Winde erzeugt, durch Reibung auf Tiefen bis zu 200 m übertragen und durch die Rotation der Erde abgelenkt werden.

Je länger ein Meeresbecken von festen Grenzen umgeben wird, desto tiefere und regelmäßigere Strömungen beherrschen den Wasseraustausch und die Verteilung des Meroplanktons.

Besonders wichtig sind für uns die zwischen den Meeresströmungen sich einschaltenden Meeresstillen oder Halistasen. Sie sind gegenwärtig besonders auf denselben Breiten entwickelt, die auf dem Festland als Wüsten erscheinen, und auch in der Vorzeit können ähnliche Beziehungen bei der Konstruktion von paläoklimatischen Karten eine gewisse Bedeutung gewinnen.

Wo sich kalte und warme Strömungen begegnen, findet ein besonders rasches Absterben des mitgeführten Planktons statt; dort scheint sich auch leicht Glaukonit auszuscheiden.

Wir haben schon wiederholt darauf hingewiesen, daß die altzeitlichen Meere nur flache Becken erfüllten und daher ihre Ufer und Grenzen leicht verschieben konnten. Daher bestand damals die Möglichkeit zur Bildung von Halistasen und Gegenströmungen viel mehr wie jetzt, wo sich gewaltige Tiefseebecken zwischen den litoralen Flachseegebieten dehnen. Die Häufigkeit von schwarzen lebensfeindlichen Tonen und Schiefern findet darin ihre Erklärung.

Mit der Entstehung der abyssalen Becken änderten sich die Bewegungen der Ozeane. Sie konnten fortan wohl ihre Ränder überfluten oder freilegen, aber nicht über die gefestigten Kontinentalsockel hinwegschreiten, und so schränkten sich auch die Halistasen immer mehr auf engere Gebiete der Küstenzone ein.

Obwohl die Gezeiten in den heutigen Meeren eine große Rolle für Schiffahrt und Besiedelung spielen, so ist doch der von Ebbe und Flut begrenzte Küstenstreifen, die Schorre, meist viel zu schmal, um größere Wirkungen hervorzurufen, und die regelmäßige Wiederkehr der Erscheinung macht es unmöglich, die normalen Gezeiten an einer älteren marinen Schichtenfolge wiederzuerkennen.

Aber besonders hohe, durch Interferenz erzeugte Flutwirkungen mögen doch gelegentlich im Schichtenprofil nachzuweisen sein, besonders wenn sie durch ihre stürmische Bewegung die passiv treibenden lebenden oder abgestorbenen Tierreste weit ins Küstengebiet hineintrugen. Bei

St. Michel an der bretonischen Küste erreicht die Flut 15 m und verteilt sich über eine nahezu 20 km breite flache Küstenebene, so daß die heranstürmende Flutwelle mit der Geschwindigkeit eines galoppierenden Pferdes darüber hinwegeilt. Auch im Ästuarium großer Flüsse treibt die Flut das Salzwasser viele Kilometer weit landeinwärts. Am Gangesdelta konnte ich inmitten der aus wohlgeschichtetem Schlamm bestehenden Inseln kaum stromabwärts fahren, weil die eindringende Flut für die Ruderer zu stark war.

So werden überall planktonische, nekroplanktonische und pseudoplanktonische Reste weit ins Land hineingetragen und müssen sterben, wo sich die salzigen mit den süßen Wassern begegnen. Die marinen Einschaltungen im fosilleeren Sand des devonischen Deltagebietes der Rheinlande, des Culmdelta im Harz, des oberkarbonischen Steinkohlengebirges oder der ins Meer eingewanderten Dünen des Kreidelandes (Quadersandsteine) lassen sich auf diesem Wege leicht erklären.

Die schmalen Säume der hierbei aufgehäuften organischen Reste bilden an allen Ufern offener Meere die jedem Sammler bekannten Strandwälle und werden in die litorale Gesteinsfolge als rasch auskeilende fossilreiche Zwischenlagerung eingeschaltet.

Eine eigentümliche Rolle spielt nach J. Weigelt eine regelmäßig wiederkehrende Wasserströmung im Litoralgebiet auf die Anordnung der im Sediment eingebetteten Conchilien:

Obwohl im norddeutschen Wattenmeer Mytilus, Tellina, Cardium, Litorina und Hydrobia vielfach durcheinanderleben, so werden sie doch durch die Gezeitenbewegung nach Gewicht, Größe und Gestalt scharf gesondert und jede Art für sich auf bestimmten Flächen der Schorre abgelagert. Seewärts liegen die Mytilusschalen, die Wölbung nach oben gekehrt, oft mehrere Doppelschalen ineinandergeschoben, unter strenger Ausnutzung des Raumes dicht aneinandergekeilt. Dann folgt küstenwärts eine Zone der kleineren Cardium und Tellina mit größeren Schalen von Litorina, die so dicht gedrängt sind, daß sich die braunen Gehäuse berühren. Eine weitere Zone von weißer Farbe wird aus Säumen von Hydrobia und zahllosen Schalentrümmern der vorher genannten Arten gebildet. Bei Verlandung des Watts verschieben sich diese Zonen, und natürliche Profile durch den Wattenschlick schneiden die Schalenpflaster bald im Bereich der einen, bald in dem der andern Art. So wird der Anschein eines beständigen Faunenwechsels erweckt, obwohl nur eine mechanische Zerlegung und Aufbereitung einer gemischten Fauna vorliegt.

Obwohl die benthonischen Korallen und ähnliche Stockbildner im allgemeinen die dahinterliegende Küste vor den Angriffen allzu heftiger Fluten schützen, so werden sie doch durch kräftige Stürme oft abgerissen und über den Strand gerollt. An tropischen Küsten sieht man dann

weite Flächen mit abgerollten Korallenblöcken bedeckt und einzelne derselben treiben sogar mit ins Meer hinaus.

Auch die Seebeben und marinen Vulkanausbrüche können verfrachtend und anhäufend auf die Meeresfauna wirken. Bei der Explosion von Krakatau im Jahre 1883 wanderte eine 30—50 m hohe kreisförmige Flutwelle durch den ganzen malayischen Archipel und vernichtete 30000 am Ufer der Inseln lebende Menschen. Kein Wunder, daß hierbei auch mitten zwischen die ruhig geschichteten litoralen Sedimente eine kräftige örtliche Diskordanz oder zwischen fossilarme Sande eine versteinerungsreiche tonige Zwischenschicht eingefügt werden kann.

Seitdem einzelne Meeresbecken bis zu großer Tiefe eingesunken und deren Wassermasse dem direkten Einfluß der Sonnenstrahlen entzogen wurde, mußte auch die Temperatur der tieferen Wasserschichten von anderen Bedingungen bestimmt werden wie die Festländer und die obere Wasserzone. Denn das jeweils schwerste Wasser sank jetzt in die Tiefe und lagerte sich dort ab. Über je mehr Breitengrade sich ein solches Meer erstreckt, desto größer kann der thermische Gegensatz zwischen Tiefe und Oberfläche werden, und in den großen Ozeanen der Gegenwart schwebt bekanntlich am Äquator eine 35° warme Wasserschicht über der kaum 5° warmen Tiefsee.

Diese Sinkströmungen spielen für die Ernährung und Sauerstoffzufuhr der Tiefsee eine große Rolle und verfrachten natürlich zahllose oberflächlich treibende organische Reste. Die universelle Verteilung planktonischer Globigerina, Pulvinulina und Orbulina am Tiefseeboden findet darin ihre Erklärung, und manche fossilen Reste mögen von ähnlichen Sinkströmen aus ihrem Lebensraum in einen fremden Fundraum getragen worden sein.

Aufsteigende Strömungen sind daneben keineswegs selten. Besonders in der Meerenge von Messina werden dadurch zahllose Tiefseetiere in die Litoralzone emporgebracht und im Golf von Neapel ist eine den Fischern als l'ammontatura (Steige) wohlbekannte Stelle die Eintrittspforte für die aus der Tiefe nach der Golfoberfläche getragenen Ctenophoren und Medusen. Bei der paläontologischen Analyse gemischter Faunen müssen beide Fälle scharf unterschieden werden. Damit man nicht litorale Ablagerungen, wie das so oft geschehen ist, irrtümlicherweise als „Tiefsee" bezeichnet.

Grundverschieden von den passiven Wasserströmungen, welche die marinen schwebenden Organismen verteilen, sind die Verhältnisse im Süßwasser der großen Flußsysteme, deren Ströme nur von Berg zu Tal fließen und durch ihren Salzmangel sowie ihr geringes spezifisches Gewicht zahllosen Meerestieren eine unübersteigbare Schranke bieten. Aber die Tiergruppen, welche im Wasser der Flüsse und Schaltseen oder auf den gelegentlich überschwemmten Talauen leben, können

leicht stromabwärts getragen und an einem fernen Fundort eingebettet werden.

Freilich hat man gerade die Bedeutung dieser so leicht zu beobachtenden Vorgänge sehr überschätzt und zahllose geologische Erscheinungen mit der Überflutung großer Flußniederungen zu erklären versucht. Jeder abgerollte Knochen, jeder in fremdartiger Umgebung gefundene Rest eines Wassertieres wurde auf solche „Katastrophen" zurückgeführt.

Erneut müssen wir betonen, daß durch solche Überschwemmungen zwar Tierherden zerstreut und ihre Leichen auseinandergetrieben, aber nicht zusammengeschwemmt werden können; örtlich gehäufte Knochenreste können auf diesem Wege nicht erklärt werden.

Eine gesonderte Behandlung verdienen die Flüsse der ariden Zone und die darin so verbreiteten Endseen. Der 2000 km lange Tarim verdampft im kleinen Lopnor, der Jordan im Toten Meer, die Wolga im Kaspi, und auch die zahllosen kleinen süßen oder salzigen Endseen der Wüsten stimmen zwar in ihrem Oberlauf mit einem zum Meere abfließenden Stromsystem überein, aber ihr Unterlauf endet in einem geschlossenen Wasserbecken. Diese können nicht vom Meere aus von der marinen Fauna besiedelt werden, wenn nicht vorübergehend eine stärkere Regenperiode die Verbindung mit dem Weltmeere herstellt oder leichte Keime und Dauersporen durch den Wind nach solchen Becken getragen werden. Daher bieten die salinischen Binnenseen und die in solchen gebildeten Ablagerungen besonders verwickelte paläontologische Probleme der Besiedelung und tiergeographischen Wanderung.

Der passive Ortswechsel vieler Tiere erfolgt auf indirektem Wege, indem solche pseudoplanktonisch an andere treibende oder schwimmende Gegenstände angeheftet sind, wie die an den Sargassumästen festgewachsene Fauna, die an Treibholz festsitzenden Korallen, Crinoiden, Brachiopoden, Bryozoen, Muscheln, Schnecken und Anthropoden (Lepas). Besonders leicht wandert die Baumfauna mit den auf Flüssen oder Meeren treibenden Stämmen, doch sind diese Vorgänge so oft behandelt, daß wir hier nur daran erinnern können.

Wenn passive Wanderungen, besonders während der meroplanktonischen Jugendzeit, die ganze Verteilung der marinen Lebewelt in der Gegenwart wie in der Schichtenfolge der Vorzeit bestimmen, so darf doch der aktive Ortswechsel hierbei nicht übersehen werden, wenn er auch nur jene Vorgänge ergänzen und steigern, nicht aber ersetzen kann.

Mit Du Bois-Reymond unterscheiden wir als Ursache des Ortswechsels: die Protoplasma-, Flimmer- und Muskelbewegung.

Die Protoplasmabewegung beobachtet man bei fast allen Einzelligen. Die Mehrzahl der benthonisch lebenden Foraminiferen sendet lappige Pseudopodien aus, welche die Schalen über Pflanzen oder Steine nach sich ziehen. Die planktonischen Foraminiferen sowie die Radiolarien

schweben im offenen Wasser und umgeben sich mit einem Strahlenkranz fadenförmiger Protoplasmafortsätze, welche die Oberfläche des kleinen Körpers so vergrößern, daß sie leicht emporsteigen, während ein Zusammenziehen der Pseudopodien genügt, um tiefere Wasserschichten aufzusuchen.

Die Flimmerbewegung spielt bei kleinen Infusorien, Rotatorien sowie manchen Würmern eine wichtige Rolle für den Ortswechsel. Flimmerepithel bedeckt das Kanalsystem der Spongien, die Innenwand der Korallen, den Mantel der Brachiopoden und Muscheln und findet sich sogar in manchen Körperhöhlen der Wirbeltiere — aber eine direkte Bedeutung für die Fortbewegung besitzt sie nicht.

Die höchste und leistungsfähigste Form ist die Muskelbewegung, bedingt durch glatte und gestreifte Muskelfasern, deren histologischen Bau O. Reis schon bei Muskeln jurassischer Fische und Cephalopoden nachgewiesen hat. Sonst sind die Muskeln selbst meist verschwunden und nur ihre Ansatzstelle an Schalen, Gehäusen und Knochen fossiler Tiere lassen uns ihre einstige Bedeutung mit Sicherheit erkennen. Manche systematisch wichtigen Schalen- oder Knochenvorsprünge können nur richtig verstanden werden, wenn man sie als Muskelansätze betrachtet: viele Leisten und Skulpturen im Innern von Brachiopodenschalen, die merkwürdigen Zapfen der Rudistenschale, das hervorragende Hinterhaupt des Pteranodon, die abnormen Knochenfortsätze riesiger Dinosaurier und die Dornfortsätze am Halsabschnitt vieler Säugetiere.

Die Muskelkraft eines Tieres ist von seiner Größe abhängig. Verhalten sich die Längenmaße zweier Tiere wie 1:2, so ist das Gewicht 1:8 und die Leistungen ihrer Muskeln 1:4. Daher dürfen wir die Geschwindigkeit der Ortsbewegung z. B. bei größeren Dinosauriern als sehr klein betrachten.

Die Ortsbewegung ist so abhängig von dem Zustand des umgebenden Mediums, daß wir die Bewegung im Wasser von der auf festem Lande und in der Luft grundsätzlich trennen müssen.

Die Ortsbewegung im Wasser bildet den Ausgangspunkt jeder anderen Bewegungsform und wird bedingt durch die Schwere, die Wärme und die chemische Zusammensetzung desselben.

Das Meerwasser hat ein spezifisches Gewicht von 1,027 — 1,029.

Die Dichte des Wassers beträgt:

bei 0° . . .	0,99988	bei 10° . . .	0,99974
„ 4° . . .	1,00000	„ 20° . . .	0,99827
„ 8° . . .	0,99988	„ 30° . . .	0,99577

Im Brack- und Süßwasser vermindert sich die Dichte, doch würde dadurch für die Einwanderung mariner Tiere kein wesentliches Hindernis gegeben sein, wenn nicht der Salzgehalt eine so große Rolle spielte. Daher sind Einwanderungen in die Flüsse in der ganzen Erdgeschichte

nur selten erfolgt und nur wenige Tiergruppen haben die Meeresgrenzen endgültig durchschritten.

Obwohl auch die festgewachsenen Tiere und Pflanzen durch freie Larven oder Sporen und Samen ihren Standort verändern können, so fallen diese Gruppen doch für unsere folgenden Betrachtungen aus. Auch die Spongien können sich nicht aktiv bewegen, da ihnen das Muskelgewebe fehlt.

Dagegen finden wir Muskeln (oder „Fleisch") in besonderen Körperteilen aller höheren Tiere, zahlreiche Blutgefäße sorgen für ihre Ernährung und verwickelte Nervenbahnen regeln ihre Kontraktionen.

Die Anthozoa sind zwar meist am Boden angeheftet, aber die rezenten Aktinien vermögen sich loszulösen und mit ihrer Basis nach neuen Standorten zu kriechen. Wahrscheinlich sind auch zahlreiche Einzelkorallen, besonders die mit gekrümmten spitzen Unterenden (Streptelasma, Zaphrentis, Eupsammia, Turbinolia) oder breiter Basis (Palaeocyclus, Cyclolites, Stephanophyllia), vagile Tiere, und daß Calceola freibeweglich lebte, geht aus ihrer ausgesprochenen Bilateralität hervor.

Während die altzeitlichen Skleromedusen als schlammfressende Stöcke am Meeresboden herumkrochen, sind die heutigen Medusen Bewohner der Hochsee. Ihr Muskelring gestattet kräftige Kontraktionen der Umbrella.

Die Crinoiden sind meist festgeheftet, aber Antedon schwimmt mit eleganten Bewegungen und auch Marsupites und Uintacrinus müssen sich ähnlich bewegt haben. Die fossilen Seelilien mit spitzem Stielende haben wahrscheinlich auch Ortsbewegungen ausführen können.

Unter den Cystoideen sind alle bionomischen Lebensformen vertreten. Die bilateralen Anomalocystidae und Pleurocystidae waren augenscheinlich kriechende Tiere; auch Aristocystites muß sich nach Art der Holothurien bewegt haben.

Die Asteriden haben zwar fast starre Arme, aber mit Hilfe ihrer Ambulacralfüße bewegen sie sich doch langsam über den Boden, um ihre räuberische Lebensweise ausüben zu können, während die Ophiuriden mit lebhaften Bewegungen ihre Schlangenarme vorstrecken und den Körper nachziehen; bisweilen sind sie so rasch gestorben (Bundenbach, Solnhofen, Zandt), daß sie in der Bewegung eingebettet werden konnten; einige schwimmen frei im Wasser.

Eine sehr verwickelte Bewegungsform finden wir bei den Echiniden, deren Stacheln als Stelzen dienen, während die ebensolangen Ambulacralfüße dazwischen in großer Zahl ausgestreckt und angesaugt den Körper über den Boden ziehen. Die Regulares wandern so nach jeder Richtung, während die Irregulares, die Madreporenplatte voran, nur in einer bestimmten Richtung kriechen.

Der dickfleischige Fuß der Muscheln ermöglicht kräftige Ortsbewegungen. Viele graben oder bohren sich damit in das Sediment ein, können sich sogar über den Boden schnellen, und Pecten wie Lima schwimmen durch rasches Zusammenklappen ihrer Schalen im Wasser.

Die hornigen Byssusfäden, mit denen sich viele Muscheln an Fremdkörper anheften oder im Sand verankern, können abgelöst und wieder neu gebildet werden, so daß auch die byssustragenden Formen beweglich sind.

Der muskulöse Fuß der Schnecken befähigt sie zum Kriechen, Springen und Schwimmen, doch sind ihre Ortsbewegungen meist sehr langsam; nur wenn sie gereizt werden, ziehen sie ihren Fuß rasch in die Schale zurück.

Die Scaphopoden graben im Schlamm, die Polyplacophoren sitzen mit ihrem breiten Fuß meist mit Patelliden und Litorina nahe der Brandung auf hartem Untergrund und bewegen sich nur, während sie vom Wasser bedeckt sind.

Die Pteropoden schlagen mit ihren zarten Flügeln und bewegen sich hierbei ziemlich lebhaft. Viele besitzen außerdem die Fähigkeit, durch Änderung ihres Gewichts verschiedene Wassertiefen aufzusuchen.

Viele Würmer kriechen mit Hilfe ihres allseitig beweglichen Hautmuskelschlauches, wobei die Borsten der Anneliden als Haftpunkt eine gewisse Rolle spielen. Die Hirudineen benutzen dagegen ihre Saugnäpfe nach Art der Spannerraupen. Eine geringelte Kriechspur kann nicht von einem Ringelwurm herrühren, der meist auf einer schleimigen, glatten Furche dahingleitet.

Manche Brachiopoden haben ein so verengtes Stielloch, daß man annehmen möchte, sie haben sich frei bewegen können.

Seit ich die Frage nach der Lebensweise der fossilen Meerestiere zum erstenmal angeschnitten habe, ist besonders häufig die Bewegungsart der Cephalopoden besprochen worden. Während früher die Meisten annahmen, daß alle Gattungen gute Schwimmer waren und daß man nur auf dieser Annahme die weite Verbreitung leitender Ammonitenschalen erklären könne, habe ich diese Tatsache auf Grund unwiderlegbarer Tatsachen durch die nekroplanktonische Verfrachtung toter Schalen erklärt. Alle Einwürfe, die gegen diese Auffassung geltend gemacht wurden, treffen nicht den Kernpunkt derselben und können die Tatsache nicht aus der Welt schaffen, daß die Schalen sämtliche rezenten Cephalopoden (Nautilus, Spirula und Sepia), die kalkige Hartgebilde besitzen, nach dem Tode des Tieres lange Tage und Wochen an der Wasseroberfläche treiben und erst wieder zu Boden sinken, wenn die Luft in den Schalenräumen durch Wasser verdrängt wurde.

Da es jedem Paläontologen bekannt ist, wie häufig gekammerte Schalen noch heute unausgefüllt, andere nicht mit Sediment, sondern

mit chemisch abgesonderten Kristalldrusen erfüllt wurden, kann man nicht zweifeln, daß auch die Luftkammern der Nautiloiden und Ammonoiden mit Luft erfüllt waren und dann mußten solche Schalen als Schwimmkörper über den Ort des Todes aufsteigen und konnten eine lange oder kurze Strecke passiv verfrachtet werden.

Die Frage nach der Lebensweise der Tiere selbst wird durch diese Feststellung gar nicht berührt.

Die meisten Nautiloiden und Ammonoiden, besonders die mit verzierten Schalen (Trachyostraca), waren wahrscheinlich bodenbewohnende Kriechtiere, während die glattschaligen (Leiostraca) mehr als nektonische Schwimmer zu betrachten sind. Auch hier kann im einzelnen Fall nur dadurch eine sichere Entscheidung getroffen werden, daß man die Ammonitenfauna im Verband des umhüllenden Gesteins prüft. Scupin hat auch noch auf die Bedeutung der Windungsart, Septenzahl und Länge der Wohnkammer für die Lebensweise hingewiesen.

Für die Beurteilung der Bewegung der Cephalopoden muß man besonders daran denken, daß fast alle lebenden Formen durch Kontraktion ihres Trichters nach rückwärts schwimmen und dabei mit einer geradezu bewunderungswürdigen Zielsicherheit ihre Schlupfwinkel erreichen. Loligo kann daneben mit seinen Flossen eine Wellenbewegung ausführen und, wenn auch weit langsamer, mit dem Kopf voran schwimmen.

Die Orthoceratiden möchte ich für Tiere halten, die ihre Schalen nach oben, den Kopf und den Tentakelkranz nach unten gerichtet, im Wasser auf Beute lauerten; eine umgekehrte Orientierung und Verankerung im Boden hätte gewiß zur Ausbildung von Haftorganen geführt, die an der Anfangskammer irgend eine Art bleibende Veränderungen hervorgerufen haben würde. Auch die Hinfälligkeit der Anfangskammer und die oft beobachtete Fähigkeit, die zu lang gewordenen Schalen teilweise abzustoßen, ist mit einer Anheftung im Sediment nicht vereinbar.

Große Schwierigkeit machen aber die altzeitlichen Nautiloideen mit verengter Mündung (Gomphoceras, Phragmoceras) und die ebenso sonderbaren mittelzeitlichen Nebenformen der Ammonoideen. Ich kann mir nicht vorstellen, daß eine Gomphoceras- oder Scaphites-Schale den ganzen Körper umschlossen hat, sondern möchte vermuten, daß es sich, wie bei Spirula, um teilweise innere Schalen handelt, doch bedarf diese Frage genauer Untersuchung.

Die Arthropoden sind mit den Wirbeltieren die am mannigfaltigsten gestalteten Tiere und ihre Bewegungsweise ist ebenso vielseitig. Während die letzteren aber ihr Hautskelett, abgesehen von den Schlangen, niemals im ganzen erneuern, häuten sich die meisten Krebse in regelmäßigem Rhythmus.

Die pseudoplanktonischen Cirripeden, ferner die planktonischen Ostracoden und Phyllopoden sind schon früher erwähnt worden.

Bei den höheren Krebsen befinden sich die Muskeln im Innern hohler Chitingebilde und auch einige fossile Gruppen stimmen darin mit den Decapoden überein.

Die Trilobiten zeigen so selten Beinreste, daß man die Frage aufwerfen darf, ob die bei Asaphus, Thriarthrus und einigen anderen Gattungen unter besonders günstigen Umständen beobachteten gegliederten Anhänge wirklich auch bei allen anderen Gattungen vorhanden gewesen sind. Über die Lebensweise der Trilobiten haben die Untersuchungen Richters wichtige Daten ergeben, doch kann ihre Einbettung in das Gestein, ihre Lage zu den Schichtflächen und zur Fazies noch viel Neues bringen.

Erst wenn die Lebensweise der wichtigsten Gattungen durch Untersuchung im Lager genau festgestellt ist, wird auch ihre Bedeutung als Gliederungs- oder Leitfossilien recht verständlich sein.

Die Blindheit mancher Gattungen hat mit der Wassertiefe nichts zu tun: sondern solche Formen erblindeten, weil sie wie der Maulwurf unter der Schlammoberfläche lebten. Die Riesenaugen anderer Gattungen deuten nicht auf Tiefsee, sondern auf hochentwickelten Gesichtssinn und vielleicht räuberische Lebensweise, wie dies die rezenten Libellen und Heuschrecken beobachten lassen. Andere, mit vielgegliederten Körperanhängen verzierte Gattungen gehörten zum Plankton — aber dann bleibt immer noch die große Menge der benthonischen Formen, deren Bewegungsform unbekannt ist. Eingerollte Exemplare müssen (wie lebend gekochte Krebse) glötzlich gestorben und eingebettet worden sein, bevor die Muskelstarre sich löste.

Da unter Wasser keine feinere Fußspur erhalten bleibt, sprechen die bekannten Fährten mit der zwischen den Beinspuren entlang ziehenden Schwanzrinne dafür, daß diese Formen nach Art unserer rezenten Krabben auch außer dem Wasser leben konnten, also imstande gewesen sein müssen, ihre Kiemen feucht zu halten.

Die als Cruziana beschriebene Fährte aus dem kambrischen Sandstein von Lugnos rührt dagegen von einem Tiere her, das mit kräftigen Beinen im Sande 1—2 cm tief wühlen konnte. Wenn es ein Trilobit gewesen wäre, so müßten abgefallene Beinglieder oder ähnliche Reste zu finden sein.

Auch die Frage, ob und welche Trilobitenreste als Häutungen zu betrachten sind, bedarf genauer Untersuchung. Merkwürdig ist die örtliche Häufung von Agnostus in fußgroßen Schwülen der schwedischen Alaunschiefer.

Das Auftreten von Gampsonyx in einem permischen Binnensee und mancher älterer Schizopoden in devonischem oder karbonischem Süßwasser erinnert an die Verbreitung der rezenten Mysis in festländischen Seebecken, die man so lange als marine Relikte betrachtete, bis R. Credner zeigte, wie leicht ihre Jugendformen verbreitet werden.

Die seltenen fossilen Stomatopoden mögen sich wie die rezente Squilla in feinen Schlamm eingewühlt haben und hielten ihre scharfen Scheren jederzeit bereit, um kleine Beutetiere, die über den Meeresboden zogen, mit raschem Schnitt zu töten.

Die Macruren sind echte Nektontiere, die mit ihrem muskelreichen Schwanz schlagend sich rückwärts bewegen, während die Beine vorwiegend zum Klettern oder Festhalten zwischen Felsen und anderen Fremdkörpern dienen. Ihre Beine oder Scheren sind wohlgeeignet, um schalentragende Tiere zu zerknacken, und während sie mit ihren Kaufüßen das Fleisch verzehren, bleibt ein grobkantiger Muschelsand am Meeresboden zurück. Da sie ihre eigenen Verwandten nicht schonen, darf man die Häufigkeit von Pemphix im Muschelkalk von Crailsheim oder anderen Krebsen bei Solnhofen als Beweis dafür ansehen, daß sie dort rasch starben und ebenso schnell eingebettet wurden.

Die Anpassungsfähigkeit der Macruren an Süßwasser ist sehr groß. Wir sind gewöhnt, in allen Flüssen und sogar im salzigen Binnensee des Caspi: Astacus zu finden, ohne zu bedenken, daß ein Paläontologe auf Grund von dessen naher Verwandtschaft und Ähnlichkeit mit den marinen Homarus jede Ablagerung mit Resten von Astacus als „marin“ betrachten würde.

Die Seltenheit von fossilen Anomuren und Brachyuren steht in so auffallendem Gegensatz zu ihrer heutigen Zahl und Verbreitung, daß wir sie als eine erst in der Neuzeit zur Herrschaft gekommene Formenwelt betrachten müssen. Heute sind sie, besonders an den Küsten wärmerer Meere, so ungemein häufig, daß sie im Leben des Meeres als Aasfresser und Raubtiere die wichtigste Rolle spielen. Zu Millionen wandern sie auf dem von der Ebbe entblößten Strand vorwärts, seitwärts oder rückwärts mit gleicher Geschicklichkeit umher, sammeln sich an jeder Leiche, greifen sich selbst gegenseitig an, lassen ihr vom Feinde gepacktes Bein sofort fahren und verkriechen sich rasch in selbstgegrabene Löcher oder zwischen Steinen und Pflanzen. Zerschlägt man einen vielästigen Korallenstock, so fallen zahlreiche kleine bunte Krabben heraus, die in den Lücken desselben lebten, und selbst bis auf die Gipfel der Kokospalme klettern einzelne von Samen lebende Arten.

Die Merostomata (deren letzter Vertreter Limulus seit der Trias mit unveränderten Gattungscharakteren lebt, sich durch seine Trilobitenlarve als ein Nachkomme der altzeitlichen Krebse kennzeichnet und schon im Karbon in dem kleinen Süßwasserkrebs Belinurus einen Vorläufer hatte) beherrschen die Meere und Binnenseen der Altzeit mit ihren vielgestaltigen und zu gewaltigen Dimensionen heranwachsenden Formen. Clarke und Ruedemann haben ihre Lebensweise erschöpfend studiert und unterscheiden vier verschiedene Typen:

1. Hugmilleria, Pterygotus, Erettopterus und Slimonia mit ihrem fischartigen Körper und breiten Telson schwammen nektonisch.
2. Eusarcus mit seinem dreieckigen Körper, großen Schreitbeinen und gebogenem Endstachel lebte eingegraben im Schlamm, aus dem seine wachsamen Augen hervorschauten.
3. Eurypterus und Dolichopterus gruben sich ebenso leicht mit ihren kräftigen Beinen ein, konnten aber zugleich vorzüglich schwimmen.
4. Drepanopterus und der gigantische Stylonurus endlich krochen langsam über den Boden und konnten sich mit ihrem langen Telson ähnlich wie der rezente Limulus leicht aufrichten, wenn sie durch die Wellen auf den Rücken geworfen worden waren.

Die Bewegungen der heutigen Insekten sind so vielgestaltig, aber auch so bekannt, daß wir ihrer hier nicht gedenken würden, wenn nicht die Frage nach der Lebensweise der altzeitlichen Ur-Insekten noch sorgfältiger Untersuchungen bedürfte, denn wahrscheinlich haben manche dieser älteren Gruppe einen großen Teil ihres Lebens unter Wasser zugebracht, bis sich bald der eine, bald der andere Zweig ihres Stammbaums über den Wasserspiegel erhob, um die Kiemenatmung mit der Tracheenatmung, die Anpassungserscheinungen eines dichten, oft schlammreichen Mediums mit denen der klaren Luft oder der Pflanzenblüten und Früchte zu vertauschen. Daß Meganeura und ähnliche Riesenformen ein räuberisches Leben führten und damals die unbestrittenen Beherrscher der Luft waren, setzt ganz andere Formen der Bewegungs- und Freßmuskulatur voraus, als wir sie bei ihren harmloseren Nachkommen finden.

Die Wirbeltiere zeigen eine ungeheure Mannigfaltigkeit der Bewegungsform. Ihre fleischigen Muskelbündel, in elastische Sehnen übergehend, setzen sich in verwickeltem Gefüge an die Hartgebilde des inneren und äußeren Skeletts und sind immer wieder der Gegenstand vergleichender Betrachtungen gewesen.

Wenn wir die Bewegungen der Wirbeltiere zum Ausgangspunkt einer Sonderung ihres Körpers wählen, so wird die Kopfregion nirgends als Bewegungszentrum benutzt, weil der Mund und die Sinnesorgane zwar eines fein innervierten Apparats kleinerer Muskeln bedürfen, aber größere Bewegungsmuskeln zwischen diesen wichtigen Organen keinen Platz haben.

Wenn wir, biologischen und geologischen Tatsachen entsprechend, die Bewegung im Wasser als die ursprünglichere betrachten, so wird diese von der Schwanzregion übernommen. Durch laterale, spirale oder dorsoventrale Bewegungen des Hinterendes bewegen sich ebenso alle modernen Schiffskörper, wie die an zielbewußte, rasche Bewegungen im Wasser angepaßten nektonischen Tiere. Mögen die Decapoden dabei rückwärts oder die Fische vorwärts schwimmen, stets ist die kaudale Muskulatur als Motor entwickelt. Und selbst wenn Landtiere nachträglich

wieder ins Wasser steigen und sich an die Bewegung im feuchten Element wieder anpassen, dann sehen wir bei Ichthyosauriern, Hesperornis, Tauchervögeln, Zeuglodonten, Delphinen und Walen wieder die kräftige, lokomotorische Ausbildung in der Schwanzregion auftreten.

Sogar die gepanzerten Ostracionten der Gegenwart verwenden den freibeweglichen Schwanz als Bewegungsorgan.

Mediane oder laterale Säume und lappige Anhänge (Flossen) dienen als Steuerapparat, und wenn bei Trigla hirundo die ersten Strahlen der Brustflossen zu kleinen beinartigen Gebilden umgewandelt sind, so kann man doch leicht beobachten, daß sie zwar beim Aufsuchen der Nahrung zwischen Sand und Steinen, aber nicht zur eigentlichen Fortbewegung verwendet werden. Wenn Periophthalmus mit seinen kleinen Vorderflossen über den Schlamm der Mangroveregion hüpft oder Anabas auf Palmen klettert, so treten doch auch diese Bewegungen im Wasser vollständig zurück.

Betrachten wir von diesem Standpunkt die altzeitlichen Fische, so begegnet uns gerade bei ihren ältesten Vertretern, selbst wenn der ganze übrige Körper gepanzert ist, der freibewegliche, nur mit verschiebbaren Schuppen bedeckte Schwanz, ohne eine Spur von Extremitäten an der Rumpfregion.

Wir stimmen daher mit O. Jaekel darin überein, daß die Urfische keine Extremitäten besaßen, und daß alle Versuche, die Vierbeinigkeit aus einer Form des Wasserlebens abzuleiten, mit den paläontologischen Tatsachen in Widerspruch stehen.

Ein Wassertier braucht keine Beine, um sich in einer Ebene über den Boden zu heben und darin fortzubewegen — dafür reicht seine gut innervierte Schwanzmuskulatur vollkommen aus.

Ganz andere mechanische und biologische Forderungen stellt das Leben auf dem Festland an die Art der Fortbewegung. Hier muß der in der Luft spezifisch schwere Körper über einen meist unebenen Boden hinwegbefördert werden und die theoretisch einfachste Art einer solchen Bewegung ist das Schlängeln, d. h. eine abwechselnde Biegung einzelner Teile der Wirbelsäule. Wir sehen sie am vollkommensten bei den Schlangen ausgebildet, aber auch in anderen Gruppen des Wirbeltierstammes kommen vereinzelte Beispiele vor (Anguilla, Dolichosoma, Cöcilia, Anguis). Auf glattem, feuchtem Boden ist das Schlängeln noch einigermaßen vorteilhaft, daher finden wir diese Form der Bewegung bei vielen Amphibien, deren Entwicklung und Leben im Wasser abläuft, so daß auch im Lebensraum der Erwachsenen feuchte Flächen weit verbreitet sind. Aber wenn der Körper solcher Tiere nicht durch starke Vermehrung der Wirbelzahl besonders lang geworden ist, bleibt diese Art der Fortbewegung sehr unvollkommen.

So sehen wir bei den ältesten, aus dem Schlammgebiet auf trockenen Boden wandernden Stegocephalen kurze, gegliederte und strahlig gebaute

Rumpfanhänge entstehen, welche durch Stoßen und Schieben die schlängelnde Lebensweise zunächst unterstützen, dann aber zu kräftigen Stelzen werden, auf denen sich der Körper auch über den unebenen trockenen Untergrund erheben kann.

Die ältesten vierbeinigen Fährten kennen wir aus devonischen Sandsteinen, die in demselben ariden Wüstenland gebildet wurden, in dem auch die ältesten doppelatmenden Dipteriden gefunden werden, so daß an den erdgeschichtlichen Ursachen dieses Neuerwerbes kaum zu zweifeln ist.

Die Tatsache, daß die Vierbeinigkeit nur einmal erworben wurde, also streng monophyletisch ist, geht aus der Zähigkeit hervor, mit der gerade die Vierzahl vererbt wird. In der ganzen Reihe der so vielgestaltigen Wirbeltiere und während der langen, seither verflossenen Zeit tritt kein einziges sechsbeiniges Wirbeltier auf und die ganze weitere Entwicklung der verschiedenen Ordnungen beruht auf Differenzierung oder Reduktion der einmal angelegten zwei Paar Urbeine. So gelangen wir zu der von O. Jaekel auf Grund anderer Tatsachenreihen aufgestellten Ansicht, daß die Tetrapoden als Landtiere entstanden sind, und daß es vergeblich ist, im Skelett der marinen Fische nach den ersten Anlagen einer Einrichtung zu suchen, die nur im Zusammenhang mit der Fortbewegung außer dem Wasser verständlich erscheint.

In der weiteren Entwicklung der Bewegungsweise können wir mehrere gesonderte Wege erkennen. Eine völlig gleichmäßige Ausbildung der Schenkel- und Oberarmmuskeln und eine gleichwertige Beteiligung beider Extremitätenpaare sehen wir bei Amphibien, Reptilien und einigen wenigen kletternden und gehenden Säugetierordnungen.

In der Regel läßt uns aber schon die Verteilung des Muskelfleisches erkennen, daß die eine Extremität die Hauptleistung auszuführen hat.

Die Beckenmuskulatur herrscht bei den Dinosauriern, Aepyorniden, Ratiten, Tauchvögeln, Pinguinen, Edentaten und Marsupialiern, also den meisten geologisch älteren Gruppen; aber auch die springenden Raubtiere, Nagetiere und Huftiere haben kräftige Hinterbeine und nur schwach entwickelte Arme.

Die Brustmuskulatur wird dagegen vorwiegend verwendet von den Pterosauriern, Flugvögeln und Chiropteren, die ihrer ganzen Organisation nach als spätere, abgeleitete Formen zu betrachten sind. Am stärksten ist das Übergewicht des Brustgürtels bei Pteranodon ausgebildet, dessen gesamte Becken- und Schwanzregion rudimentär geworden ist.

Die dauernde Fortbewegung in der Luft haben nur wenige Tiergruppen gelernt, und das geologische Auftreten dieser Fähigkeit läßt deutlich erkennen, daß es sich um einen wiederholten Vorgang handelt.

Im Devon treten zahlreiche Urinsekten auf, deren Larven sich zwar im Wasser entwickeln, die aber im erwachsenen Zustand mit gut-

entfalteten Flügeln versehen sind. Das zeitliche Zusammentreffen mit den ersten Tetrapoden und der Lungenatmung der Wirbeltiere scheint auf gemeinsame erdgeschichtliche Ursachen zu deuten. Ob aber die nicht fliegenden Protracheaten als ursprüngliche oder verkümmerte Formen anzusehen sind, läßt sich paläontologisch nicht entscheiden. Von den 30 Insektenordnungen erscheinen schon elf in der Altzeit und erreichen schon im Karbon den Höhepunkt ihrer Entwicklung.

Merkwürdigerweise hat kein Krebs das Fliegen gelernt, obwohl die Mannigfaltigkeit ihrer Gestalt und Lebensweise diesen Schritt möglich erscheinen läßt und die Arme der Gigantostraca von älteren Beobachtern als „Flügel" gedeutet worden sind.

Die Fische haben zwar schon in der Triaszeit die ersten Versuche unternommen, ihre stark verbreiterten Vorderflossen als Schirm auszubilden und damit über ein Stück Wasserfläche zu schweben. Andere Gattungen dieser „fliegenden" Fische treten im Tertiär auf — aber da es nirgends zur Ausbildung eines wirklichen Flugorgans kommt, darf man wohl schließen, daß der direkte Übergang aus dem Wasserleben zu einer reinen Luftbewegung biologisch unmöglich ist und nur Landtiere das Fliegen lernen können.

Bei den festländischen Wirbeltieren entsteht das Flugvermögen zweimal. Zunächst finden wir im unteren Jura die ältesten Flugsaurier, die im Oberen Malm von Solnhofen zwar nur in fünf Gattungen, aber doch in großer Individuenzahl gefunden werden. Die Flughaut wird bei allen Formen durch den stark verlängerten kleinen Finger gespannt, der Bau des übrigen Skeletts weist aber große Verschiedenheit auf. Der Schädel von Pterodactylus und Rhamphorhynchus ist wesentlich anders gestaltet. Der kleine Pterodactylus besitzt einen verkümmerten Schwanz und ist, nach der oft erhaltenen Fährte zu urteilen, sorglos über die verlandenden Schlammflächen der Lagune gehüpft. Dagegen war der langschwänzige Rhamphorhynchus ein guter Flieger, der mit seinen schmalen aber langen Schwingen wie eine Seeschwalbe dahinglitt.

Die seltsamste Gestalt unter den Flugsauriern besaß aber Pteranodon, der größte und letzte Vertreter dieser Gruppe in der nordamerikanischen Kreide. Seine stark pneumatischen Knochen, die 7 m betragende Flügelweite, die dünne Knochenscheide des pelikanähnlichen Schnabels und die als Steuer dienende, zu einer breiten Platte ausgezogene Hinterhauptregion sind ebenso merkwürdig, wie die auf den kleinsten Raum reduzierte Beckenregion mit den ebenso verkümmerten Beinchen. Vor allem scheint das kleine Becken ganz ungeeignet, um selbst kleine Eier oder Junge zu bergen. Sein rasches Aussterben ist leicht verständlich.

Gleichzeitig mit den Pterosauriern erscheinen auch die ersten Vögel. Wäre die Archaeopteryx nicht in feinen Schlamm von Solnhofen mit ihrem Federkleid eingebettet und so wunderbar erhalten worden, so

würde man aus dem Knochenskelett nicht geschlossen haben, daß es sich um einen echten Vogel handelt. Denn die vierbeinige Gestalt mit den bekrallten Zehen, dem bezahnten Schädel und dem langen Schwanz würde man als überaus interessantes vogelartiges Reptil, nicht aber als einen Vogel mit Reptiliencharakter behandelt haben, und niemand hätte vermutet, daß diese Eidechse ein Federkleid getragen habe. Jedenfalls ist uns in diesem merkwürdigen Fund ein so primitives Stadium auf der Bahn vom Reptil zum Vogel erhalten, daß wir die eigentliche Ausbildung des Vogelkörpers und des Flugvermögens nicht vor, sondern nach dieser Anfangsform setzen müssen. Schon in der nächstfolgenden Kreidezeit ist aber der Vogeltypus vollkommen fertig und sogar neben dem kleinen Flugvogel Ichthyornis mit hoher Brustmuskulatur und hoher Crista sterni finden wir den großen Tauchvogel Aepyornis mit glattem Brustbau, fast verkümmertem Armskelett und stark entwickelten Beckenmuskeln zur Bewegung der kräftigen Beine. Die Bezahnung der Kiefer erinnert allein an das rasch überwundene flatternde Reptilienstadium.

Im Gegensatz zur Schwinge des Flugsauriers ist der Flügel des Vogels aus einer reduzierten Hand mit dem umgebildeten Vorderarm zusammengeschweißt.

Die große Mannigfaltigkeit des Vogellebens tritt uns erst im Tertiär entgegen, wo ihre ungeheure Differenzierung und Ausbreitung durch die Entwicklung der Blütenpflanzen und Insekten wohl verständlich erscheint.

In derselben Zeit begegnen uns, ohne daß wir die vermittelnden Ahnen bisher gefunden hätten, die Fledermäuse. Schon im Obereozän des Quercy ist das neue Flugorgan, das sich zwischen den verlängerten Zehen der Hand ausspannt, vollkommen fertig und erfährt seitdem keine wesentliche Umbildung.

Wenn wir endlich daran erinnern, welche hohe Ausbildung die Flugtechnik und das Fliegen der Menschen in den letzten Jahren gewonnen hat, so geschieht es, um zu zeigen, daß sich das starre Luftschiff am wenigsten an organische Formen anschließt. Es ist eine vergrößerte aerostatische Vakuole, an der nur die sinnreich angebrachten Steuerflügel den Flossen der Fische ähneln. Dagegen ist der Eindecker nach langen Umwegen auf dem Typus des Stoßvogels angekommen, während der Zweidecker vielleicht in der starren Flugdecke der Käfer sein mechanisches Urbild haben dürfte.

Die Geschwindigkeit, die durch Vermehrung der Muskelbündel, Vergrößerung der Knochen zum Ansatz von Sehnenbündeln und feiner Innervierung einzelner Muskelgruppen erzielt wird, ist ungemein verschieden. Die Trägheit der Amphibien, Edentaten und Schildkröten findet in der Schnelligkeit vieler Reptilien, Vögel und Lufttiere ihren Gegensatz.

Vom biologischen Standpunkt interessiert uns aber vor allen Dingen die Frage, durch welche Ursachen all die Wasser-, Land- und Lufttiere

zu langsamen oder raschen, dauernden oder periodisch unterbrochenen Ortsbewegungen veranlaßt werden.

Die Tiere sind keine ziel- und planlosen globe-trotters, sondern ihre Ortsveränderung ist ebenso biologisch notwendig bedingt wie ihre Atmung oder Ernährung.

Wenn wir die heutige Fauna auf ihre geographische Verbreitung prüfen, so sind fast alle, selbst die rasch beweglichen Hochseefische, Sturmvögel, Wale und Steppentiere auf einen klimatisch bestimmbaren Lebensraum beschränkt. Nur der Kulturmensch mit seinen Begleitern scheint keine Verbreitungsgrenze zu kennen, aber selbst die primitiven Rassen zeigen noch wohlumgrenzte Wohnorte.

Bei den Ortsveränderungen der Tiere unterscheiden wir:

1. das Wechseln, d. h. das mehr oder weniger regelmäßige Wandern einzelner Tiere vom geschützten Wohnort nach den Stellen der Nahrungsaufnahme; es vollzieht sich innerhalb eines eng umschriebenen Lebensraums;
2. das Ziehen, eine Ortsbewegung größerer Schwärme oder Herden in längeren, klimatisch bedingten Pausen, entweder um Laich- oder Brutplätze aufzusuchen oder um periodisch nahrungsreichere Futtergebiete zu erreichen.
3. Als Wandern oder Migrieren möchten wir unperiodische Ortsveränderungen einzelner Arten oder ganzer Lebensgenossenschaften unter dem Einfluß geologischer Veränderungen bezeichnen.

Wir haben die geologischen Begleiterscheinungen solcher Wanderungen in einem späteren Abschnitt noch zu schildern. Doch soll schon hier betont werden, daß Wanderungen stets mit einem Fazieswechsel verknüpft sind, so daß man daraus schließen kann, daß zwischen beiden Vorgängen enge ursächliche Beziehungen bestehen.

Das Wechseln und Ziehen der Tiere erfolgt nur innerhalb der Grenzen ihres Lebensbezirkes und hinterläßt, da es meist periodisch wiederkehrt, keine erkennbaren Spuren im Fossilgehalt der Erdrinde. Mag ein Zug Cephalopoden, Fische oder Schildkröten auf der Wanderung nach den Laichplätzen zugrunde gehen oder eine Mammutherde beim Suchen nach einer blühenden Waldwiese im Moor versinken, so wird durch die Wiederkehr solcher zufälliger Unglücksfälle zwar der Lebensraum mit Hartgebilden und Knochenresten überstreut und der Fundraum bestimmt, aber die Grenzen jenes nicht wesentlich verändert.

Anders ist es, wenn durch eine Verlagerung des Klimagebiets eine Verschiebung der Faziesgrenzen oder eine Änderung in der Gruppierung der Lebensgenossen eine bestimmte Art zum Wandern veranlaßt wird. Schon bei der Betrachtung der Gliederungsfossilien haben wir darauf hingewiesen, wie oft in der geologischen Schichtenfolge solche migra-

torische Vorgänge zum Ausdruck kommen. Fast jeder Aufschluß in fossilführenden Gesteinen läßt diesen Ortswechsel der Arten beobachten.

Wir wollen den Ort eines Lebensbezirks, wo die meisten Individuen gleichzeitig gefunden werden, als den bionomischen Schwerpunkt bezeichnen. Wenn man von diesem aus die Veränderungen seiner Grenzen überschaut, dann scheinen diese bald hier, bald dort um eine mittlere Grenzlinie zu schwanken. Wenn in trockenen Jahren die Steppenhühner aus Südrußland bis nach Deutschland gelangen, im kalten Winter die nordische Vogelwelt bis nach Thüringen wandert, so wird dieses Wandern von jenem Standpunkt aus nicht besonders auffallen.

Aber gerade diese Beispiele lassen erkennen, wie grundverschieden dieselbe Erscheinung auf einen Beobachter wirkt, der außerhalb des Lebensbezirkes der betreffenden Art steht. Er sieht in dem einen Fall ein aktives Vordringen der Fauna, ein Einwandern (Immigration), im anderen einen Rückzug, ein Auswandern (Emigration) der Art, und je weiter die klimatische Änderung reicht, desto größer erscheint der von den wandernden Arten zurückgelegte Weg.

Ein wiederum verschiedenes Bild entsteht, wenn wir diese Vorgänge im Querschnitt einer Schichtenfolge mit wechselnden Gesteinen und wechselndem Fossilgehalt untersuchen.

Eine mächtige organische Kalkmasse reich an marinen Einschlüssen zeigt uns an, daß hier längere Zeiträume hindurch kalkabscheidende Lebewesen gediehen und leicht werden wir vom Liegenden zum Hangenden dieselbe Fauna finden. Mehr oder weniger gut erhalten, durch Diagenese verändert oder leicht herauszulösen, verfolgen wir die gleiche bodenständige Lebewelt durch ein längeres Stück der Erdgeschichte.

In einem entfernten gleichalterigen Bildungsraum ist während derselben Zeit Tonschlamm abgelagert worden, auf dem eine ganz andere Fauna lebte; nur vereinzelte Leitfossilien sind über beiden Faziesgebieten verteilt und werden bald hier, bald dort verstreut gefunden.

Zwischen beiden Faunen liegt eine, oft viele Meilen breite, Übergangszone, in der sich ihre Arten nicht etwa mischen, sondern in wiederholtem, scheinbar regellosem Wechsel übereinander auftreten. Hier ist ein Kalkbewohner bis weit in die Tonablagerung eingewandert und als vereinzelter Vorposten rasch zugrunde gegangen, dort hat sich zwischen die Kalkschichten eine tonige Schicht eingelagert, in welcher die Bewohner des Schlammgebietes häufiger eingeschlossen sind.

Die Reichweite der sich verlagernden Faziesgrenzen bestimmt die Verbreitungsgrenze der Arten, die Mächtigkeit der sich überlagernden Schichtenglieder die Zeitdauer solcher Zustände, und da an manches Faziesgebiet nicht nur zwei, sondern zahlreiche Nachbarfazies angrenzen und jede derselben einmal oder wiederholt verlagert wird, so entsteht der jedem Geologen wohlbekannte Artwechsel in den sich überlagernden

Schichten, wobei Vertreter ganz verschiedener Lebensgemeinschaften nacheinander auf den Schauplatz treten und einander ablösen. Wir haben in späteren Abschnitten diese Vorgänge noch eingehender zu schildern und ihre geologischen Wirkungen zu verfolgen.

Hier soll nur nochmals auf den Gegensatz hingewiesen werden, der zwischen den aktiven Wanderungen erwachsener Personen, den passiven Wanderungen der Jugendformen und dem passiven Verschleppen toter Hartgebilde besteht. Eine fossile Fauna setzt sich fast immer aus Vertretern dieser verschiedenen Gruppen zusammen und nur wenn wir die Lebensweise jeder derselben kennen, wenn wir das Fossil in Verbindung mit dem umhüllenden Gestein, seiner Entstehungsweise, Lagerungsform und Mächtigkeit untersuchen, wird es gelingen, den Wandel des Lebens in Raum und Zeit der Erdgeschichte zu enträtseln.

Literatur

Abel, O., Fossile Flugfische. Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanstalt 1906, LVI. Bd., 1. Heft. — Abel, O., Der Anpassungstypus von Metriorhynchus. Zentralbl. f. Mineral. usw. Jahrg. 1907, Nr. 8, S. 225—235. — Abel, O., Die Lebensweise der altpaläozoischen Fische. Verhandl. d. k. k. zool.-botan. Gesellsch., Wien 1907, S. 157. — Abel, O., Bau und Lebensweise der Flugsaurier. Berichte üb. d. Allg. Vers. v. 6. Nov. 1907. — Abel, O., Die Anpassungsformen der Wirbeltiere an das Meeresleben. 1908. Vorträge d Vereins z Verbr. naturw. Kenntn. in Wien, 48. Jahrg., Heft 14. — Du Bois-Reymond, Physiologie der Bewegung in Winterstein, Handb. d. Vergl. Physiologie III, 1. — Born, A., Zur Organisation der Trilobiten. Senckenbergian. I, 5, 1919. — Branca, W., Fossile Flugtiere und Erwerb des Flugvermögens. Abh. d. K. Preuß. Akad. d. Wissensch. vom Jahre 1908. — Clarke, J. M. and Ruedemann, R., The Eurypterida of New York, 1912, Vol. I, Text. — Diener, C., Verbreitung und Lebensweise der Ammoniten. Verh. d. k. k. zool.-botan. Gesellsch. Wien, Jahrg. 1912, S. 82. — Diener, C., Lebensweise und Verbreitung der Ammoniten. N. Jahrbuch f. Min. usw., Jahrg. 1912, Bd. II, S. 67—89. — Diener, C., Untersuchungen über die Wohnkammerlänge als Grundlage einer natürlichen Systematik der Ammoniten. Sitzungsb. d. Kais. Akak. d. Wissensch. Wien, Math.-naturw. Klasse, Abt. I, Bd. CXXV, 5. u. 6. Heft, 1916. — Dollo, L., Eochelone Brabantica Tortue Marine Nouvelle du Bruxellien (Eocène Moyen) de la Belgique et l'évolution des Chelonens Marins, 1903, Bruxelles. — Dollo, L., Les Mosasaurien de la Belgique. Bull. Societé Belge de Géologie, Tome XVII, 1904, Bruxelles, S. 207. — Dollo, L., Sur Quelques Points d'Ethologie Paléontologique Relatifs aux Poissons. Bull. Société Belge de Géologie, Tome XX, 1906, Bruxelles. — Dollo, L., Le pied de Lamphiproviverra et l'Origine Arboricole des Marsupliaux. Bull. Société Belge de Géologie, Tome XX, 1906, Bruxelles. — Dollo, L., La Paléontologie Ethologique, Bruxelles 1910. — Dollo, L., La Paléontologie Ethologique. Bull. de la Soiété Belge de Géologie, Tome XXIII, 1909, S. 377, Bruxelles. — Dollo, L., Les Céphalopodes adaptés à la Vie Nectique Secondaire et à la Vie Benthique Tertiaire. Zool. Jahrb. Suppl. XV, 1. Bd., 1912, S. 105. — Fraas, E., Die Meerkrokodile (Thalattosuchia n. g.) eine neue Sauriergruppe der Juraformation. — Fraas, E., Thalassemys marina E. Fraas aus dem oberen weißen Jura von Schnaitheim nebst Bemerkungen über die Stammesgeschichte der Schildkröten. Jahresh. d. Ver. f. vaterl. Naturk. in Württemberg, Jahrg. 1903, S. 72. — Fraas, E., Reptilien und Säugetiere in ihren Anpassungserscheinungen an das marine Leben. Jahresh. d Ver. f. vaterl. Naturk. in Württemberg Jahrg. 1905, S. 347. — Handlirsch, A, Über fossile Insekten, Wien 1911. —

Jaekel, O., Die Wirbeltiere, Berlin 1911. — Jaekel, O., Über Plicatocriniden, Hyocrinus und Saccocoma. Deutsch. geol. Zeitschr. Bd XLIV, Heft 4, S. 619, 1893. — Jaekel, O., Über die verschiedenen Rochentypen. Sitz.-Ber. d. Gesell. naturf. Freunde Berlin, Jahrg. 1898, Nr 5, S. 43. — Jaekel, O., Thesen über die Organisation und Lebensweise ausgestorbener Cephalopoden. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Gesellsch. Bd. LIV, Jahrg. 1902, S. 63. — Neumayer, M., Über unvermittelt auftretende Cephalopodentypen, 1878. — Richter, R., Vom Bau und Leben der Trilobiten. Senckenbergiana I 6. II 1, Frankfurt 1919. 20. — Schlesinger, G., Über undulatorische Bewegung bei Fischen. Verh. d. k. k. zool.-botan. Gesellsch. Wien, Jahrg. 1911, S. 301. — Schuchert, Ch., Jackson on the Phylogeny of the Echini. Journal of Science Vol. XXXIV, 1912, S. 251. — Scupin, H., Welche Ammoniten waren benthonisch, welche Schwimmer? Verh. d. Deutsch. Zool. Gesellsch. a d. 22. Jahresvers. zu Halle 1912. S. 347. — v. Staff, H. und Reck, H., Die Lebensweise der Zweischaler des Solnhofer lithographischen Schiefers. Sitzungsb. d. Gesellsch. Naturf. Freunde Berlin Jahrg. 1911, Nr. 3, S. 155. — v. Staff, H. und Reck, H., Über die Lebensweise der Trilobiten. Sitzungsb. d. Gesellsch. Naturf. Freunde Berlin Jahrg. 1911, Nr. 2, S. 129. — Strasser, H., Ortsbewegung der Fische, Stuttgart 1882. — Stromer, E., Die Urwale (Archaeoceti). Anatom Anz. Zentralbl. f. d. ges. wissensch. Gesellsch. Jena 1908, Bd. XXXIII, Nr. 4 u. 5, S. 81. — Wedekind, R., Über Lobus, Suturallobus und Inzision. Zentralbl. f. Min. usw. Jahrg. 1916, Nr. 8, S. 185—195. — Weigelt, J., Geologie und Nordseefauna. Der Steinbruch XIV, 1919, Heft 33—36. — Ziegler, H. E., Die phylogenetische Entstehung des Kopfes der Wirbeltiere. Jenaische Zeitschr. f. Naturwissensch. Bd. XLIII, 1908, S. 653.

32. Der Funktionswechsel

Alle rezenten Lebewesen beginnen ihre selbständige Existenz mit dem Stadium einer kernhaltigen Zelle, d. h. eines morphologisch und physiologisch gesonderten, meist sehr kleinen Protoplasmateilchens. Durch Teilung und Differenzierung entstehen vielzellige Gewebe, und diese sind meist im engsten Zusammenhang mit bestimmten Leistungen auf einzelne Körperabschnitte verteilt. Aber manche Gewebe (Nerven, Blutgefäße, Bindegewebe) stellen eine dauernde Verbindung zwischen den lokalisierten Geweben des Gesamtorganismus her und bedingen jene wunderbare Selbstregulierung in ihren Leistungen und Größenverhältnissen.

Es ist theoretisch wahrscheinlich, daß diese drei Stadien der Ontogenie auch die aufeinanderfolgenden Schritte der Gesamtentwicklung der Lebewesen bestimmten, allein geologisch läßt sich diese Frage nicht entscheiden. Denn wir finden zwar im blauen kambrischen Ton von Petersburg glaukonitische Steinkerne von Foraminiferen und in den präkambrischen Schiefern von St Lô hat Cayeux zahlreiche Radiolarien erkannt — allein diese uralten Einzelligen sind nur ein verschwindender Bruchteil der zahlreichen kambrischen, aus hochdifferenzierten Hartgebilden bestehenden Fossilien, die sich schon damals wie heute aus einem kleinen runden einzelligen Ei (z. B. Sao) entwickelten.

So treffen wir schon am geologisch bekannten Anfang des Lebens einen Zustand, der seither durch die langen Perioden der Erdgeschichte

andauerte. Jedes Lebewesen muß atmen, assimilieren oder fressen, wachsen und sich vermehren. Diese Leistungen muß der einzellige Organismus ebenso vollziehen, wie die aus verwickelten Gewebsregionen zusammengesetzten Pflanzen oder Tiere. Die Leistung ist also älter wie das ihr besonders dienende Organ. Selbst einzellige Infusorien haben besondere Wimpern, welche die Bewegung vollziehen, eine Mundregion, womit sie Nahrung aufnehmen, und einen gefärbten Fleck für Lichtempfindungen. Die lokalisierte Funktion ist also auch nicht an eine bestimmte Anzahl von Zellen gebunden, die den Körper zusammensetzen.

Die Werkzeuge der Lebensvorgänge nennt man Organe, ihre Leistungen Funktion und ein derartig zusammengesetztes, sich selbst regulierendes Lebewesen einen Organismus. Viele Probleme der Organgestaltung fallen nicht in den Kreis einer paläontologischen Betrachtung, denn der Geologe kann zahlreiche Organe nicht direkt untersuchen, weil alle weichen Gewebe verschwunden sind und nur ihre Eindrücke, Ansätze oder Durchtritte an den Hartgebilden erkannt werden können. Das Zentralnervensystem eines Wirbeltiers ist aus seiner Schädelkapsel und dem Wirbelkanal, das Darmsystem aus seinem mit Zähnen bewehrten Anfangsteil, die Größe der Geschlechtsdrüsen aus der Weite des Beckens zu erkennen, und auch bei Spongien, Korallen, Echinodermen, Brachiopoden, Mollusken oder Arthropoden hat die feinsinnige Arbeit der vergleichenden Anatomie rezenter Formen uns die Mittel an die Hand gegeben, um auch die längst verwesten weichen Organe ihrer fossilen Vorfahren zu bestimmen. Nur die völlig ausgestorbenen älteren Formenkreise der Problematika bieten in dieser Hinsicht noch heute große Schwierigkeiten.

Ebenso mannigfaltig wie die äußere Form der Organe ist ihre besondere Funktion. Viele Würmer atmen mit der äußeren Haut, die Muscheln mit Kiemenblättern, die Insekten mit Tracheen, die Fische mit ihrem Kiemenkorb, die höheren Wirbeltiere durch Lungen.

Ganz verschiedene Körperteile dienen der Fortbewegung: Borsten, Saugnäpfe, Tentakel, Beine oder Flügel, und das Flugorgan selbst ist in verschiedenen Wirbeltiergruppen aus ganz anderen Knochenteilen zusammengesetzt: bei den Flugsauriern wird es vom stark verlängerten „kleinen“ Finger gespannt, der Vogel benutzt den ganzen Vorderarm mit der Hand, die Fledermaus die riesig langen Finger, das Insekt fliegt mit dorsalen Körperanhängen. Es besteht also ein Unterschied zwischen Organ und Funktion bei systematisch verschiedenen Tiergruppen. Genetisch nahe verwandte Formen benutzen dieselben Organe zu derselben Funktion, während systematisch verschiedene Gruppen dieselbe Leistung mit anderen Körperteilen ausüben. Alles Vergleichen zweier rezenter oder fossiler Lebewesen, das systematische Bestimmen einer einzelnen Art, wie die Gruppierung der Arten zu Gattungen und Familien, und

ganz besonders die phyletische Anordnung der einzelnen Gruppen zu Klassen oder Stammbäumen beruht nur auf der Vergleichung der Organe. Der Paläontologe ist außerdem in der schwierigen Lage, daß er die Funktion derselben, sofern ihm nicht Fährten und Spuren im Gestein überliefert sind, nur indirekt erschließen kann.

Wir müssen uns der von der vergleichenden Anatomie ausgearbeiteten und bewährten Methoden bedienen, wenn wir unsere paläontologischen Vergleiche auf einer exakten Grundlage aufbauen wollen.

Der Grundsatz der vergleichenden Anatomie, wie sie durch Blumenbach, Bronn, Gegenbaur, Haeckel und Owen begründet wurde, lautet: Um die historisch gewordenen Veränderungen der Organisation eines Einzelwesens oder einer Tiergruppe zu ergründen, müssen wir scharf zwischen morphologischer Gleichwertigkeit, also gleicher Entstehungsweise oder Homologie, und physiologisch übereinstimmender Leistung oder Analogie unterscheiden. Homologe Eigenschaften sind alt und vererbt, analoge Organe neu erworben. Homologie bestimmt die morphologisch-systematische Verwandtschaft, Analogie die funktionelle Art der Lebensweise.

Obwohl die Unterscheidung von Homologie und Analogie seit fast hundert Jahren die ganze Arbeit der vergleichenden Anatomie, Zoologie und Botanik beherrscht und alle die glänzenden Fortschritte dieser Wissenschaften bedingte, ist vor einigen Jahren von paläontologischer Seite der eigenartige Versuch unternommen worden, eine Systematik der Fossilien und ihre phyletische Verwandtschaft auf Analogie zu begründen, die ungestalteten Rudisten mit den formlosen Ascidien, die fischähnlichen Saurier mit den ins Meer eingewanderten Säugetieren und die fliegenden Reptilien mit den Vögeln und Fledermäusen in genetische Beziehungen zu bringen.

Die einmütige Ablehnung, die diese absonderliche „Theorie" von seiten der Botaniker, Zoologen und Anatomen in Deutschland wie im Auslande erfahren hat, sollte allen Paläontologen zu denken geben.

Denn wer die Grundlagen der Abstammungslehre geologisch auswerten und im Rahmen der induktiven Vererbungslehre paläontologische Reihen aufstellen will, der muß über den Unterschied zwischen Homologie und Analogie ganz im klaren sein, sonst steht seine Arbeit in Widerspruch mit den allgemein anerkannten Grundsätzen der vergleichenden Anatomie.

Während der Botaniker und Zoologe die phyletische Ausgangsform eines Organs oder eines Organismus nur durch theoretische Vergleichung erschließen kann, arbeitet der Paläontologe zwar mit einem lückevollen, aber dafür streng chronologisch geordneten Beobachtungsmaterial. Dieser große Vorteil ist bisher noch keineswegs so ausgenutzt und bewertet worden, wie er verdient. Denn es kann keinem Zweifel unterliegen,

daß nur die geologisch-historisch geordneten Fossilien eine sichere Grundlage für phyletische Stammbäume bieten können. Es kommt hinzu, daß jedes Fossil aus einem Fundort stammt, der in der Regel dem Lebensraum der betreffenden Rasse oder Art entspricht, daß seine Beziehungen zur Fazies ebenso wie seine migratorischen Wanderungen von einem Gesteinsglied in das folgende sorgfältig untersucht werden kann, so daß wir mit dem Lebewesen auch seine einstigen lithologisch erhaltenen Lebensbedingungen prüfen und verfolgen können.

Denn wenn die Eigenschaften einer Art im ganzen wie in allen Einzelheiten bestimmte Lebensfunktionen auszuführen haben und, mit anderen Worten: der morphologische Ausdruck physiologischer Funktionen sind, dann muß es möglich sein, die genetische Reihe eines Organs im Rahmen seiner Fazies mit der genetischen Reihe seiner Funktion zu vergleichen.

Jede Änderung in den äußeren Lebensbedingungen stellt ein Lebewesen vor zwei weitere Lebensmöglichkeiten:

1. entweder im jugendlichen oder ausgewachsenen Zustand auszuwandern, um die ihm zusagenden Umstände an einem anderen Ort seines Lebensbezirks zu finden, oder
2. sich den neuen Umständen seines Standortes durch Änderung der Funktion seiner Organe anzupassen.

Ist die betreffende Form unfähig, den einen oder andern dieser Wege zu beschreiten, dann muß sie aussterben.

Der fast regelmäßig mit einem geologischen Fazieswechsel verbundene Rassen- oder Artwechsel läßt uns deutlich erkennen, daß die meisten Organismen den zweiten Weg beschritten haben, der sich physiologisch als Funktionswechsel bezeichnen läßt. „Jede Funktion ist eine Resultante aus mehreren Komponenten, deren eine die Haupt- oder Primärfunktion bildet, während die anderen Neben- oder Sekundärfunktionen darstellen. Das Sinken der Hauptfunktion und die Steigerung einer Nebenfunktion ändert die Gesamtfunktion. Die Nebenfunktion wird allmählich zur Hauptfunktion, die Gesamtfunktion wird eine andere und die Folge des ganzen Prozesses ist die Umgestaltung des Organs.“ Seit A. Dohrn dieses wichtige biologische Prinzip zuerst erkannt und formuliert hat, spielt es bei zoologisch-botanischen Betrachtungen eine immer steigendere Rolle, aber in der Paläontologie hat es verhältnismäßig geringen Einfluß gewonnen, obwohl zahllose Probleme damit zusammenhängen.

Jeder, der sich mit den Gestalten und Leistungen der rezenten Organismen beschäftigt, wird durch die Harmonie zwischen den Organen und ihren Leistungen ebenso überrascht, wie durch die harmonischen Wechselbeziehungen zwischen den verschiedenen Organen desselben Lebewesens. Man bezeichnete sie als Zweckmäßigkeit und dachte zunächst

an eine vorausbestimmte Harmonie des Schöpfungsplanes, die schon in präkambrischer Zeit alle späteren Veränderungen der Organismen vorausbestimmt habe. Die Naturphilosophie betrachtete sie als Wirkung einer geheimnisvollen Lebenskraft, also als eine nicht näher zu untersuchende Eigenschaft des Eiweißmoleküls. HAECKEL legte besonderes Gewicht auf die in der organischen Welt überall vorkommenden Unvollkommenheiten und zeigte im Anschluß an DARWIN, daß durch den bloßen Zufall und dauernde Auslese der Unzweckmäßigen eine immer zweckmäßigere Wechselbeziehung zwischen Organ und Leistung, zwischen Organisation und Umwelt erzielt würde.

Eine neue Wendung erhielt die Biologie durch die von W. ROUX zuerst erkannte funktionelle Anpassung. Man versteht darunter die Anpassung der morphologischen Eigenschaften von lebenden Teilen an ihre Leistung durch Ausübung der Funktion. Verstärkte Tätigkeit vergrößert ein Organ bloß in denjenigen Dimensionen, welche eine Verstärkung der Tätigkeit leisten, aber diese wird nicht durch die Vermehrung der Ernährung infolge erhöhter Blutzufuhr, sondern durch bestimmte innere Zustände, den sogenannten „Nahrungshunger“, hervorgerufen. Die Ausübung der Funktion wirkt als ernährender Reiz. Dieser funktionelle Reiz muß eine gewisse Größe erreichen, um eine Veränderung der Struktur des Organs zu bedingen, und diese Wirkung ist in den verschiedenen Lebensperioden der Person verschieden.

Vom geologischen Standpunkt kann man die funktionelle Anpassung etwa folgendermaßen in die Zeitfolge und den Fazieswechsel einreihen: Solange die Fazies und die sie beherrschenden äußeren Umstände unveränderlich sind, wirkt die funktionelle Anpassung in der Weise, daß sie die Organe der verschiedenen Lebensgenossen desselben Lebensraumes so weit ausbildet, als die verfügbare Nahrung und die feindlichen Konkurrenten eine Vermehrung der Personenzahl der einzelnen Art ermöglicht. Die Tiere oder Pflanzen derselben Art wachsen infolgedessen bis zu einer mittleren Größe und jede folgende Generation zeigt durch ihre Personenzahl sowie die verminderten oder vergrößerten Dimensionen ihrer Hartgebilde, in welchem Sinne ein geringes Schwanken der Lebensbedingungen eingetreten ist.

Im allgemeinen wird dieses Schwanken der äußeren Umstände um einen mittleren Wert oszillieren, der die normale Artgröße und Häufigkeit bestimmt.

Ändern sich die Lebensbedingungen des Standortes, so ist es zunächst eine Frage der räumlichen Entfernung bis zu dem identischen Faziesgebiet, ob und in welcher Ausdehnung eine Auswanderung erfolgen kann. Viele meroplanktonische Larven oder passiv verfrachtete Vorposten haben eine beschränkte Lebensdauer und sind weniger widerstandsfähig als ihre erwachsenen Formen, als daß sie die anders

gearteten bionomischen Zustände eines langen Wanderwegs vertragen könnten.

Das wird sich darin äußern, daß an einem entfernten Fundort eine andere systematische Zusammensetzung derselben Fauna auftritt, andere Gliederungsfossilien vorherrschen und andere Arten häufig bzw. selten sind. Die vielfach in der Stratigraphie geübte Methode, beim Fehlen einer oder mehrerer Arten in zwei im allgemeinen gleichalterigen Fundorten an ein verschiedenes geologisches Alter zu denken, ist von diesem Gesichtspunkt durchaus fehlerhaft.

Eine beständige Artänderung innerhalb einer selbst mit gleicher Fazies isopisch sich überlagernden Schichtenfolge ist geologisch so selten zu beobachten, daß man eine weitergehende funktionelle Anpassung ohne gleichzeitigen Ortswechsel nicht annehmen kann.

Trotzdem der Paläontologe nur mit toten Organismen zu tun hat, liegt noch viel unverwertetes Material in den paläontologischen Museen, an dem man auch das Prinzip des Funktionswechsels verfolgen kann.

Wir denken zunächst an die Crinoiden, deren hochdifferenzierter Körper die Anpassung an bestimmte Lebensweisen deutlich zur Schau trägt. Die spitze Wurzel zahlreicher älterer Formen hatte augenscheinlich eine andere Funktion als die bei den mittelzeitlichen Formen so verbreitete Haftscheibe. Die Umbildung der Cirrhen bei Antedon, die Verbreiterung der Pinnulae zu Schwimmplättchen von Saccocoma sind ebenfalls Zeichen der funktionellen Anpassung. Besonders merkwürdig ist die Verwandlung des unteren Stielendes bei silurischen Crinoiden in die kopfgroßen Schwimmblasen der Lobuliten. Merkwürdig ist auch die funktionelle Anpassung des Crinoidenkelches beim Übergang in das Skelett der Blastoiden, welche so oft mit den Cystoiden zusammen genannt werden, obwohl sie nichts weiter sind wie ein besonders spezialisierter Zweig der Seelilien.

Auch im Stamm der Brachiopoden lassen sich Beispiele von Funktionswechsel erkennen, denn die hohlen Stacheln, die dem Productus das Schweben im Wasser ermöglichten, verwandeln sich bei P. amplectens in ein Greiforgan und bei Richthofenia dienen sie der Befestigung am Boden.

Die Muschelschale, die in den meisten Fällen nur zum Schutz des Weichtieres dient, wird bei den Austern und besonders den Rudisten zu einem Haftorgan, und die Kammerung der Cephalopodenschale, die bei den Orthoceras und Verwandten nur als Befestigung der wachsenden Schalenröhre dient, wird bei den Goniatiten und Ammoniten zum hydrostatischen Apparat. So wandelt der Funktionswechsel die äußere gekammerte Schale bei den Belemniten in den Phragmoken und das Rostrum dieser bei der Sepiophora in einen kleinen unbedeutenden Stachel.

Die Verwandlung der ursprünglich gleichartigen Beinanhänge der Arthropoden in Scheren oder Kau- und Schwimmfüße läßt sich erd-

geschichtlich leicht verfolgen. Unvergleichlich reicher ist das Material für Beispiele des Funktionswechsels in der Reihe der Wirbeltiere. Hier haben ABEL, DOLLO, FRAAS, OSBORN, SCHLOSSER u. a. reiche Ernten gehalten und immer neue interessante Tatsachen kommen ans Licht.

Das Parietalloch der Stegocephalen bezeichnet die Stelle, wo einst ein unpares Auge sich befand, und bei den heutigen Reptilien läßt sich beobachten, wie sich dies Sinnesorgan in eine unpare Gehirndrüse verwandelt, die als Zirbeldrüse sogar noch beim Menschen existiert.

Ungemein mannigfaltig ist der Funktionswechsel der Extremitäten; ihre Umbildung zu Flosse und Flügel bedarf an dieser Stelle keine weitere Betrachtung. Auch am Schwanz der Wirbeltiere sind funktionelle Anpassungen weit verbreitet. Von dem freien Balancierorgan führen zahlreiche Übergänge zu dem Stützschwanz der Dinosaurier, Nagetiere und Känguruhs. Besonders lehrreich und oft behandelt ist endlich die Entwicklung des Flugorgans bei den höheren Wirbeltieren.

Literatur

Abel, O., Die Ursache der Asymmetrie des Zahnwalschädels. Sitzungsb. d. Kaiserl. Akad. d. Wissensch. Wien, Math.-naturw. Klasse, Bd. CXI, Abt. I, 1902. — Abel, O., Über Halitherium Bellunense, eine Übergangsform zur Gattung Metaxytherium. Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanst. 1905; Bd. LV, Heft 2, Wien 1905, S. 393. — Abel, O., Die Milchmolaren der Sirenen. N. Jahrb. f. Min. usw. Jahrg 1906, Bd. II, S. 50—60. — Abel, O., Bau und Lebensweise der Flugsaurier. Ber. üb. d. Allgem. Versamml vom 6. Nov. 1907, S. 253. — Abel, O., Der Anpassungstypus von Metriorhynchus. Zentralbl. f. Min. usw. Jahrg. 1907, Nr. 8, S. 225—235. — Alverdes, F., Die gleichgerichtete stammesgeschichtliche Entwicklung der Vögel und Säugetiere. Biologisches Zentralblatt Bd. XXXIX, Nr. 9, 1919, S. 385. — Dohrn, A., Der Ursprung der Wirbeltiere und das Prinzip des Funktionswechsels, 1875. — Drevermann, F., Die Meersaurier im Senckenbergischen Museum. 45. Ber. d. Senckenb. Naturf. Gesellsch., Sonderheft 1914, S. 35. — Eaton, G. F., Osteology of Pteranodon. Memoirs of the Connecticut Academy of Arts and Sciences Vol. II, 1910. — Fraas, E., Die Meer-Crocodilier (Thalattosuuchia) des oberen Jura unter spezieller Berücksichtigung von Dacosaurus und Geosaurus. Palaeontographica Bd. XLIX, 1902. — Fraas, E., Ostafrikanische Dinosaurier. Palaeontographica Bd. LV, S. 105, 1908. — Handlirsch, A., Einige interessante Kapitel der Paläo-Entomologie Verhandl. d. k. k. zoolog.-botan. Gesellsch. Wien, 1910, S. 160. — Jaekel, O., Über die ältesten Gliedmaßen von Tetrapoden. Sitzungsb. d. Gesellsch. Naturf. Freunde Nr. 10, 1909, S. 587. — Jaekel, O., Die Flügelbildung der Flugsaurier und Vögel. Anatom. Anzeiger Bd. XLVIII, Nr. 1, 1915. — Lang, A., Versuch einer Erklärung der Asymmetrie der Gastropoden. Vierteljahrsschf. d. naturf. Gesellsch. in Zürich 1891, 36. Jahrg., Heft 3 u. 4. — Plieninger, F., Beiträge zur Kenntnis der Flugsaurier. Palaeontographica Bd. XLVIII, 1901, S. 65. — Plieninger, F., Über die Hand der Pterosaurier. Zentralbl. f. Min. usw. Jahrg. 1906, Nr. 13, S. 399—412. — Reche, O., Über Form und Funktion der Halswirbelsäule der Wale Jenaische Zeitschr. f. Naturw. Bd. XL, 1905, S. 149. — Schlosser, M., Über die Modifikation des Extremitätenskeletts bei den einzelnen Säugetierstämmen. Biolog. Zentralbl. Bd. IX, Nr. 22 u. 23, 1890, S. 684. — Schlosser, M., Die Differenzierung des Säugetiergebisses. Biolog. Zentralbl. Bd. X, Nr. 8 u. 9, 1890, S. 238. — Wieland, G. R., Note on the Dinosaur-Turtle Analogy. Science, N. S. Vol. XXXVI, No. 922. p. 287—288, 1912.

33. Rasse und Art

Der biblische Genesisbericht ging von der Annahme aus, daß seit den Schöpfungstagen stets dieselben Tierformen auf der Erde wie im Wasser gelebt haben und daß auch die antediluviale Lebewelt aus denselben Arten bestand wie die postdiluviale Fauna. Daher mußte der Verfasser der Bücher Mose die „Archenhypothese" einschalten, um verständlich zu machen, weshalb trotz der lebenvernichtenden Flut die Kontinuität der Arten erhalten blieb.

Allerdings handelte es sich bei den von den Noachiden geretteten Tierpaaren im heutigen systematischen Sinn um Gattungen, und noch 1780 ordnete Silberschlag die linnéischen Genera in den gefächerten Grundriß seines zweistöckigen Archengebäudes ein.

Im Jahre 1748 hatte Linné die Grundlage der noch heute geltenden Systematik gelegt, indem er die einander ähnlichen Personen als Arten (species) zusammenfaßte, verwandte Arten zu Gattungen (genera) vereinte und diese zu Familien, Ordnungen und Klassen verknüpfte. Der Gedanke einer Blutsverwandtschaft lag ihm fern und sein System stand unter dem Einfluß der Typenlehre. Die Art war ihm etwas Unveränderliches und er glaubte, daß alle rezenten Arten schon bei der ersten Entstehung des Lebens geschaffen worden seien.

Merkwürdigerweise machte Linné vor den fossilen Arten halt. Obwohl er zahlreiche silurische, permische und triadische organische Formen kannte und beschrieb, so stellte er sie doch mit Kristallen, Erden und Gesteinen zu einem dritten „Reich der Steine" zusammen.

Aber J. F. Blumenbach, der seit 1777, längst vor Cuvier, Vorlesungen über vergleichende Anatomie hielt, der Karl von Hoff zu seinem Werk über die „Natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche" veranlaßt und somit die ontologische Methode zuerst begründet, und der die spezifischen Unterschiede der fossilen und der rezenten Fauna klar erkannt hatte, ging auch auf dem Gebiet der Systematik einen wichtigen Schritt vorwärts, indem er innerhalb einer natürlichen Art verschiedene Rassen unterschied, welche in Abhängigkeit von verschiedenen Standorten gleichzeitig leben. Außerdem trennte er die domestizierten Spielarten der Haustiere, die durch Kreuzung entstehenden Bastarde und die krankhaften Mißbildungen als besondere Formenabweichungen ab.

Um das Jahr 1800 gewann die „Art" eine neue Bedeutung, denn W. Smith erkannte, daß in den aufeinanderfolgenden Schichten (Mittelenglands) spezifisch verschiedene Fossilien gefunden werden und daß diese sich in einer so regelmäßigen Weise chronologisch folgen, daß sie sich zur Bestimmung des relativen Alters der Gesteine verwenden lassen. Würde Smith diese Erscheinung nur in seiner mittelenglischen Heimat

beobachtet haben, so hätte seine Entdeckung nicht so nachhaltigen Einfluß gewonnen. Aber in Deutschland war um dieselbe Zeit v. Schlotheim zu den gleichen Anschauungen gekommen und bald stellte sich, unter Führung des Grafen Murchison, heraus, daß die Gesteinsfolge in ganz Europa, soweit es sich um aufgelagerte Trümmergesteine handelte, durch fossile Einschlüsse eindeutig gegliedert und systematisch verglichen werden kann.

Mit den leitenden Graptolithenarten des englischen Seengebietes gliederte man die silurischen Schiefer in Thüringen und Böhmen, mit rheinischen Brachipodenarten das Devon des Ural, mit alpinen Ammonitenarten die Triaskalke des Himalaja, mit französischen Nummulitenarten das Eozän Nordafrikas.

Aber nicht die Gattungen, sondern die einzelnen Arten leiten, und da die zeitliche Aufeinanderfolge der Arten keineswegs einer genetisch zusammenhängenden Reihe entspricht, ist es in der Regel unmöglich, die Arten im Hangenden einer Schichtenreihe aus den im Liegenden bekannten Formen abzuleiten.

Die Tatsache, daß nicht eine „antediluviale" Fauna, sondern vielmehr zahlreiche aus anderen Arten zusammengesetzte Faunen und Floren in den aufeinanderfolgenden Schichten gefunden wurden, stand in auffallendem Gegensatz zu den damals geltenden Anschauungen.

Wenn wir die anorganischen Vorgänge in der Erdgeschichte vergleichend betrachten, so sehen wir, daß die meisten in unveränderter Weise wiederkehren. Ein präkambrischer Granit besteht aus denselben drei Mineralien (Glimmer, Feldspat und Quarz) wie ein tertiärer Granit; immer wurde der Quarz als Füllmineral zwischen den Lücken der anderen zuletzt gebildet. Ein toniges Sediment, in dem eine reiche Trilobitenfauna kambrischen Alters enthalten ist, wurde ebenso horizontal am Meeresgrund aufgeschichtet wie ein Ton mit eozänen Fischen, und aus beiden entstanden durch den Gebirgsdruck dünnblätterige, seidenglänzende Schiefer, die man nicht voneinander unterscheiden könnte, wenn sie nicht so grundverschiedene Fossilien enthielten.

Auch in der Fülle der aufeinanderfolgenden Faunen und Floren, die den nacheinander gebildeten Gesteinen eingelagert sind, kehren manche Eigenschaften wieder: Seit dem Untersilur begegnen uns stets dieselben Tierstämme mit scharf bestimmten typischen Charakteren. Foraminiferen, Radiolarien, Spongien, Anthozoen, Seeigel, Seesterne, Seelilien, Muscheln, Schnecken, Bryozoen und Brachiopoden, Krebse und Fische lassen sich leicht unterscheiden und stehen sich ebenso scharf gegenüber wie in der Fauna der Gegenwart.

Unveränderlich war auch in der ganzen geologischen Schichtenfolge die chemische Zusammensetzung der Hartgebilde dieser Tier-

gruppen und ihre histologische Struktur. Wir dürfen daraus schließen, daß ihre Drüsen und Gewebe denselben Stoffwechsel und dieselbe Funktion hatten wie die ihrer heute lebenden Nachkommen.

Es ist für den biologisch Denkenden fast selbstverständlich, daß unter diesen Umständen auch die Lebensweise der so langlebigen Tiergruppen meist dieselbe blieb, daß sie im gleichen Medium atmeten und sich bewegten. So zeigt uns die lithologische Beschaffenheit permischer Gesteine, daß schon damals die Brachiopoden und Echinodermen im Meerwasser, aber die Ganoiden und Amphibien in süßem Wasser lebten, daß Haie zwischen beiden Lebensbezirken wechselten und daß Insekten die Luft bewohnten.

In scharfem Gegensatz zu diesen unveränderlichen Erbstücken steht die Tatsache, daß die morphologischen Eigenschaften der Tiere innerhalb ihrer typischen Gesamtcharaktere einem beständigen Wechsel unterworfen waren.

Die Lebensdauer der Arten ist meist so gering, daß sie sich in dem kurzen Zeitabschnitte eines Schichtenwechsels veränderten, die Lebensdauer der Gattungen überdauert meist den Gesteinswechsel, die Ordnungen erscheinen schon ganz unabhängig von den Veränderungen der Umwelt und die Klassen werden in ihrer Existenz weder durch kleine noch durch große Umgestaltungen der Erde und auch nicht durch die längsten Zeiträume verändert. Mit der Höhe der systematischen Gruppe wächst also im allgemeinen deren Lebensdauer.

Zugleich beobachten wir, daß eine ausgestorbene Tierform niemals wiederkehrt. Beruht doch die ganze stratigraphische Geologie, die Altersbestimmung der Gesteine, die Trennung der Erdschichten in einzelne Abschnitte oder Gruppen (Formationen) auf dem Erfahrungssatz, den Dollo als ein „biologisches Gesetz“ formulierte: daß die Arten im Laufe der Erdgeschichte in einem beständigen, aber niemals rückläufigen (reversiblen) Wechsel aufeinander folgen.

Wer mit den paläontologischen Tatsachen nicht ganz vertraut ist, würde aus diesen Angaben entnehmen, daß in einem gegebenen mächtigen Aufschluß oder in einer genau untersuchten Schichtenfolge wenigstens übereinander Arten derselben Gattungen aufträten und daß man solche als Leitfossilien benützt.

Aber wir haben schon wiederholt darauf hingewiesen, daß dies nur selten der Fall ist. In der Regel wechseln nicht allein die Arten, sondern gleichzeitig die Gattungen, Familien, Ordnungen, ja sogar die Klassen der neu auftretenden Organismen. Auf eine Muschelart folgt eine leitende Ammonitenart, dann vielleicht eine Brachiopodenart und endlich ein charakteristischer Fischzahn oder ein Farnblatt, an dessen Artcharakter die neue Bildungsphase der Erdgeschichte erkannt wird. Und selbst wenn die hangenden Gesteine durch Formen derselben Gattung

oder Familie ausgezeichnet sind, dann ist es oft ganz unmöglich, phyletische Reihen zwischen diesen an derselben Stelle der Erdrinde nacheinander lebenden Arten zu ziehen.

Man muß dies berücksichtigen, um zu verstehen, weshalb die Deszendenzlehre in paläontologischen Kreisen nicht sofort Wurzel faßte.

Im Jahre 1809 veröffentlichte LAMARCK seine „Zoologie philosophique“, deren Titel deutlich erkennen läßt, daß es sich um eine deduktive Betrachtung handelt. Er behauptete, daß alle Arten veränderlich und daß diese Veränderungen vorwiegend durch Gebrauch oder Nichtgebrauch der Organe bedingt seien.

Einen merkwürdigen Rückschritt bedeutet die 1826 erschienene Abhandlung CUVIERS „Sur les révolutions à la surface du globe“. Während der Verfasser des biblischen Schöpfungsberichts nicht wagte, eine zweite Schöpfung der Tierwelt nach der Sintflut anzunehmen und sich mit der „Archenhypothese“ einen leichtverständlichen Ausweg schuf, versuchte ein so geistvoller und kenntnisreicher Naturforscher wie CUVIER, den unvermittelten Wechsel mariner und festländischer Faunen im Tertiär des Pariser Beckens durch zahlreiche wiederholte Katastrophen und Neuschöpfungen zu erklären.

Man kann nicht sagen, daß die Katastrophenlehre CUVIERS auf den Weitergang der wissenschaftlichen Forschung Einfluß gewann, denn die Zoologen konnten angesichts der immer wachsenden Artenzahl der rezenten Fauna nur auf die nahe Blutsverwandtschaft derselben schließen, und die Geologen beobachteten zwar überall den Wechsel der Arten und Gattungen innerhalb einer regelmäßig konkordanten Schichtenfolge, aber sie fanden nicht ebenso häufig die Störungen der Lagerungsverhältnisse, wie sie mit jenen hypothetischen Katastrophen hätten verbunden sein müssen.

Inzwischen wuchs die Zahl der rezenten Arten. Sammler durchstreiften die ganze Erde, Tiefsee-Expeditionen erforschten den Meeresgrund und immer enger schlossen sich die Lücken zwischen den vereinzelten Arten und Gattungen, die zuerst so schwer verständlich gewesen waren.

Besonders wichtig wurde hierbei der Nachweis, daß es neben den guten, durch scharfe Eigenschaften ausgezeichneten Arten auch gelegentlich „schlechte Arten“ gibt, deren Charaktere so schwanken, daß man in ihnen allmähliche Übergänge sehen mußte.

Sehr wichtig wurde außerdem der Nachweis, daß viele Arten in geographisch mehr oder weniger scharf getrennte Rassen zerfallen, die an bestimmte Standorte oder Lebensbezirke gebunden sind, während an einem nahen oder entfernten Standort anders geartete Individuen ebenso häufig auftreten. Besonders die Botaniker untersuchten die vielfachen Beziehungen zwischen Standort und Pflanze, und

auch auf zoologischem Gebiet boten die Säugetiere und Vögel zahlreiche ähnliche Beispiele.

Auch in der fossilen Lebewelt gab es gute und schlechte Arten, allein es wurde auf deren Vorkommen im allgemeinen wenig geachtet. Die Bedeutung des Fundorts, also des ehemaligen Standorts, wurde erkannt, aber zu einer wissenschaftlichen Sichtung des weitverstreuten Materials über fossile Standorte und Rassen konnte man sich nicht entschließen, denn ganz andere Gesichtspunkte bestimmten die paläontologisch-geologische Arbeit. Galt es doch, nach den Grundsätzen von Smith und v. Schlotheim die Arten der in verschiedenen Schichten auftretenden Leitfossilien scharf zu sondern, um mit ihrer Hilfe die Gesteine zu gliedern und einzelne Horizonte zu bestimmen.

Unter den Männern, die diese geologische Tatsache wohl kannten, aber doch, längst vor Darwin, nach einer natürlichen genetischen Erklärung suchten, müssen wir besonders H. Burmeister nennen, der schon im Jahre 1843 in seiner „Geschichte der Schöpfung" eine „Darstellung des Entwicklungsganges der Erde und ihrer Bewohner" gab, die in ihren Grundzügen noch heute gültig genannt werden könnte. Der Entwicklungsgedanke beherrscht sowohl seine Schilderung der anorganischen Vorgänge wie der Aufeinanderfolge des Lebens.

Inzwischen wurde die Entwicklung vieler Tiere genauer untersucht und es ergab sich, daß die Merkmale, mit denen man erwachsene Arten oder Gattungen zu trennen gewohnt war, auf früheren embryologischen Stadien nicht zu finden waren. So sprach auch die Keimesentwicklung der Tiere für die Veränderlichkeit der Arten.

Was Lamarck unvollkommen begründet hatte, das gestaltete nun Ch. Darwin zu einer neuen Auffassung der Lebensvorgänge, und indem E. Haeckel mutig an seine Seite trat, begann der Siegeszug der Entwicklungslehre.

„Alle Arten sind veränderlich, und kleine, kaum merkliche Änderungen summieren sich zu den wachsenden Gegensätzen von Art, Gattung und Ordnung. Alle diese Gruppen sind daher blutsverwandt und haben sich im Laufe langer Zeiträume auseinander entwickelt." — Das waren die Gedanken, welche Darwin 1859 in seinem Buch von der Entstehung der Arten und E. Haeckel 1866 in seiner Generellen Morphologie entwickelte. Während Darwin an den Rassen der Haustiere die Übergänge einer Art in die andere verständlich zu machen suchte, zeigte Haeckel in seinen Monographien der Kalkschwämme und der Radiolarien die Veränderlichkeit der marinen Tierformen.

Einige wichtige Elemente der Entwicklungslehre konnten allerdings nur auf geologischem Wege entschieden werden.

Es war leicht zu beweisen, daß die Erde ungeheuer alt und daß das Leben auf derselben seit Jahrmillionen existiert habe. Um so schwerer aber erschien es, Belege für die Veränderlichkeit der Arten in der fortlaufenden Schichtenfolge zu gewinnen.

Innerhalb der heutigen Lebewelt lassen sich mehrere, grundsätzlich verschiedene systematische Einheiten unterscheiden:

Zunächst fallen uns die Personen oder Einzelwesen auf, die von zeitlich begrenzter Lebensdauer während ihres Sonderlebens zwar ihre Dimensionen verändern, aber doch, sobald die Metamorphosen des Larvenlebens durchschritten wurden, in harmonisch-korrelativer Weise weiterwachsen, bis sie die durch innere Selbstregulierung bestimmte normale Größe erreicht haben. Dann verharren sie auf diesem Stadium eine Zeitlang, pflanzen sich mit gleichen Artcharakteren fort und sterben endlich eines natürlichen Todes.

Auch in der geologischen Vergangenheit beobachten wir, wie schon seit den ältesten fossilführenden Schichten des Unterkambrium die Individuen mit oder ohne Metamorphose bis zu einer bestimmten Größe heranwachsen, und finden zahlreiche Generationen von gleicher Gestalt, die in den oft viele Meter hohen Schichten derselben Periode übereinandergehäuft sind.

Eine zweite systematische Einheit wird durch die Rasse gegeben. Vom paläontologisch-geologischen Standpunkt verstehen wir darunter die durch dieselbe Normalgröße und denselben Habitus ausgezeichneten Personen, welche einen bestimmten Standort bewohnen. Jeder sammelnde Botaniker und Zoologe weiß, daß viele Arten geographisch in Standortsrassen zerfallen, die in Anpassung an bestimmte bionomische Umstände kleine Sonderheiten in Größe und Form erkennen lassen, welche nicht hinreichen würden, um daraus verschiedene Arten zu machen. (Freilich zeigt die neuere Systematik vielfach das Bestreben, solche Standortsrassen als „Unterarten“ zu unterscheiden, so daß der Gegensatz von Rasse und Art verwischt wird — allein ich glaube, daß die älteren Systematiker, die meist selbst sammelten und die Beziehungen zwischen Rasse und Standort in der Natur kennen lernten, in der Unterscheidung der Standortsrassen das Richtigere trafen.)

Das rezente Material der Herbarien- und Spiritussammlungen unserer Museen ist aus seiner Umwelt losgelöst, nur kurze Standortsbemerkungen in den Beischriften deuten auf die so mannigfaltigen Umstände hin, unter denen die betreffenden Personen gelebt haben. In dieser Hinsicht ist das paläontologische Material viel günstiger, sofern es sich noch im Zusammenhang mit dem umhüllenden Gestein befindet. Denn die Lebensbedingungen einer fossilen Flora oder Fauna waren in der Regel auch die Bildungsbedingungen des umhüllenden Gesteins, und wenn wir diese ursächlich verstehen, gewinnen wir Einblicke in die bionomischen

Umstände und Wechselbeziehungen, unter denen die fossilen Reste gebildet und eingebettet wurden.

Die Rasse ist, wie die Personen, eine zeitlich begrenzte morphologische Erscheinung, welche in der geologischen Vergangenheit wie in der rezenten Gegenwart innerhalb desselben kurzen Zeitraums die Eigenschaften der Lebewesen beherrscht.

Ganz anders müssen wir das Wesen der Art charakterisieren. Wenn Person und Rasse in einer Lebensfläche verbreitet sind, so erfüllt die Art einen dreidimensionalen Lebensraum, d. h. sie hat eine, durch die Mächtigkeit der umhüllenden Gesteine geologisch bestimmbare, Lebensdauer. Manche Art lebt nur kurze Zeit und ähnelt in dieser Hinsicht der Rasse, die meisten aber lassen erkennen, daß sie sich mit denselben Charakteren längere Zeit hindurch fortpflanzten, wanderten, ihre Standorte veränderten und trotzdem immer wieder ihre wesentlichen Eigenschaften bewahrten.

Keine Art ist geologisch durch verschiedene Formationen verbreitet; mit kleinen oder großen Schritten wandelt sie sich nach einer für sie bestimmten Zeitspanne in eine neue Art um. Wir sagen dann wohl: „die ältere Art ist ausgestorben“; doch trifft dieser Ausdruck nicht das Wesen des phyletischen Vorgangs, denn sie hat sich nur in eine andere Art verwandelt.

Grundsätzlich verschieden erscheint uns vom geologischen Standpunkt das Wesen der Gattung. Zunächst schwankt ihre normale Körpergröße und Gestalt in unvergleichlich weiteren Grenzen als die der Art. Die Selbstregulierung erfolgt nach anderen Regeln und neben ganz kleinen Arten begegnen uns Formenkreise von wesentlich größeren Dimensionen. Am wichtigsten aber erscheint uns ihre verschiedene geologische Lebensdauer. Die meisten Gattungen finden wir durch mehrere aufeinanderfolgende Formationen verbreitet, manche leben seit dem Untersilur bis zur Gegenwart als Dauerfossilien und beweisen die ununterbrochene Kontinuität des irdischen Lebens.

So besteht zwischen den systematischen Gruppen der Gegenwart und den entsprechenden morphologischen Kategorien jeder einzelnen Periode der geologischen Vergangenheit die genaueste Übereinstimmung. Aber das gilt auch in dem Sinne, daß die Arten jederzeit konstant waren, daß die von Darwin geforderten und angenommenen allmählichen Übergänge fehlen, und daß man daher kein Recht hat, die Entstehung neuer Arten durch unbegrenzte Variabilität und die Summierung kleiner unmerklicher Übergänge zu erklären.

Namhafte Paläontologen erkannten schon beim Erscheinen von Darwins Buch den Widerspruch, der zwischen den Forderungen der Selektionslehre und den Tatsachen der Paläontologie klaffte, und wenn ihre warnende Stimme auch allmählich verklang, so müssen wir doch

heute, wo die Entwicklungslehre zur unbestrittenen Voraussetzung alles naturwissenschaftlichen Denkens geworden ist, wo die Kontinuität des Lebens in einem Schichtenstoß von 25 000 m keinem Zweifel unterliegen kann, den Männern gerecht zu werden versuchen, welche vor 60 Jahren gewichtige Einwürfe und Bedenken gegen die neue Lehre vorbrachten.

Seit dem Jahre 1843 hatte QUENSTEDT das „Flözgebirge Württembergs" durchforscht und die Schichten Schwabens nach Arten geordnet. Seine Methode der Schichtengliederung wurde vorbildlich. Der feinsinnige Beobachter, der so viele gliedernde und leitende Arten unterschieden hatte, beobachtete auch die Rassenunterschiede im Fossilgehalt gleichalteriger Schichten — aber fortlaufende, durch kleine Übergänge vermittelte Formenreihen konnte er nicht erkennen und brachte mehrfach seine Bedenken gegen die Lehre DARWINS zum Ausdruck.

Auch BRONN, der sich 1858 in seinen „Untersuchungen über die Entwicklungsgesetze der organischen Welt" entschieden gegen eine übernatürliche Schöpfung der Lebewelt und ihrer Arten ausgesprochen hatte, besprach zwar DARWINS Werk mit größter Anerkennung, hob aber doch hervor, daß die paläontologischen Tatsachen nicht für eine langsame und allmähliche Umbildung der Arten sprächen.

E. SUESS, der in seinen Untersuchungen über die Wohnsitze der Brachiopoden sowie die marine Fauna des Wiener Beckens die stratigraphische Aufeinanderfolge der Arten sorgfältig verfolgt hatte, prüfte 1862 erneut an der Hand der tertiären Landtiere die Frage nach der Umbildung der Arten und kam zu folgendem Schluß: Während der Tertiärzeit wurde in ganz Mitteleuropa wiederholt die Landfauna verdrängt und eine andere trat auf. Hierbei wurden aber nicht einzelne Arten durch andere ersetzt, sondern die ganze Vergesellschaftung verschwand und eine neue trat an ihre Stelle. Wir sehen geographische Veränderungen eintreten, ohne daß die Säugetiere des Landes von ihnen beeinflußt werden, aber wir sehen keine Veränderung der Tierwelt ohne eine Veränderung der äußeren Umstände. Von solchen geographisch-klimatischen Umgestaltungen werden verschiedene Abteilungen der Tierwelt je nach der Verschiedenheit ihrer Wohnsitze beeinflußt, und zwar in derselben Weise sowohl die Meerestiere wie die Bewohner des Landes.

„Diese Erfahrungen stehen nun den vielfach vertretenen Ansichten von einer fortdauernden Umänderung der Artmerkmale durch natürliche Auswahl in sehr auffallender Weise entgegen und zeigen, daß die Artmerkmale eine jedenfalls sehr große Beständigkeit besitzen.

Die Annahme, daß zwischen je zwei solchen Bildungen ein außerordentlich langer Zeitraum liege, muß als gezwungen und naturwidrig zurückgewiesen werden.

Ich meine vielmehr, daß eine Umprägung der Arten erfolgt ist, nicht von selbst, sondern unter dem Einfluß einer Veränderung der Existenzbedingungen. Jedenfalls ist die Zeit, während welcher sich eine neue Art formt, in der Regel sehr kurz im Vergleich zu jener Zeit, während welcher sie mit konstanten Merkmalen andauert."

Selbst K. v. ZITTEL verhielt sich zunächst ablehnend, und wenn er auch seit 1868 ganz auf dem Boden der Entwicklungslehre stand, so habe ich doch manches Gespräch mit ihm gehabt, wobei er immer wieder auf die Schwierigkeiten hinwies, die das paläontologische Tatsachenmaterial einer Entwicklung in „allmählich variierenden" Formenreihen bot.

Auch O. HEER, der ausgezeichnete Kenner der fossilen Flora, sagte 1868 in seiner „Urwelt der Schweiz", daß so viele Tatsachen gegen die allmähliche und immer gleichmäßig fortgehende Umwandlung der Arten sprechen; die Zeit des Verharrens der Arten in bestimmten Formen muß viel länger sein als die Zeit der Veränderung derselben, und es muß in relativ kurzer Zeit eine Umprägung der Arten stattgefunden haben.

Ich könnte noch manchen anderen Paläontologen aufzählen, der sich für die Unveränderlichkeit der Arten ausgesprochen und das tatsächliche Fehlen der von DARWIN geforderten Reihen kleiner und allmählicher Übergänge hervorgehoben hat; doch werden die genannten Namen genügen.

Trotz dieser Einwürfe war der Siegeszug des Entwicklungsgedankens nicht aufzuhalten, denn während die Paläontologie sich außerstande sah, Beweise für die Veränderlichkeit aller fossiler Arten zu bringen, lieferte die vergleichende Anatomie und die Ontogenie so zahlreiche Tatsachen, die man nach HAECKELS biogenetischem Grundgesetz leicht erklären konnte, daß man die „Unvollständigkeit der paläontologischen Urkunde" für die einzige und ausreichende Ursache der sich immer wieder ergebenden Widersprüche hielt.

Bald wurden allerdings auch einige auffallende Beispiele fossiler Art-Übergänge bekannt, und obwohl ihre Zahl seither auffallenderweise kaum vermehrt worden ist, spielen sie bis zum heutigen Tage in der biologischen Literatur eine so wichtige Rolle, daß wir etwas näher auf sie eingehen müssen:

In der Miozänzeit war Deutschland nahezu verlandet. Von Nordwesten reichte eine Meeresbucht bis zur Elbe, von Westen eine brackische Fläche bis zur Wetterau, von Südwesten drang die Meeresfauna bis Ulm, von Südosten konnte MICHAEL miozäne Meeresschichten bis Oberschlesien verfolgen. Nord- und Mitteldeutschland war von kohlebildenden Sümpfen bedeckt, und die reiche Flora von Öningen am Bodensee spricht für ein mildes winterloses Klima.

Die Kalktafeln des schwäbischen und fränkischen Jura waren dagegen pflanzenarmes Steppenland und wurden je nach der Jahreszeit von Herden wandernder Tiere durchzogen.

Einige von warmen Quellen gespeiste Oasen bildeten hier den Anziehungspunkt und Wohnort einer formenreichen Tierwelt, die aus dem Ries und dann besonders von Steinheim bekannt ist. Zierliche Hirsche große Mastodonten, Nager und Raubtiere fanden sich hier an einem kleinen See, in welchem Ibis, Pelikan, Sumpfhühner und Gänse nisteten, während Eidechsen, Schlangen und Schildkröten die Ufer belebten.

Neben Helix sylvana und Helix inflexa findet sich hier eine Wasserschnecke Carinifex „multiformis", die unter dem Einfluß des in verschiedenen Teilen des Quellsees wechselwarmen Wassers so formenunbeständig wuchs, daß in den lockeren Süßwasserkalken Millionen Schneckenschalen eingebettet wurden, die man in variable Formenkreise zerlegen und zu Entwicklungsreihen anordnen kann, obwohl eine strenge stratigraphische Folge dieser Spielarten vom Liegenden zum Hangenden nicht zu erkennen ist. Es handelt sich um denselben pathologischen Vorgang der Formenunbeständigkeit, wie ihn Kormos an der Schneckenfauna ungarischer Thermen beobachtet hat.

Bemerkenswert ist es außerdem, daß bei Steinheim nur die Carinifex variiert, während alle anderen Arten der formenreichen Fauna wohl bestimmbar und scharf umgrenzt sind.

Quenstedt sagte 1884 darüber: Wie Camerarius 1712 das Schneckengewimmel von Steinheim benutzte, um den längst gefallenen Ideen von Sintflut und Naturspielen sich im Vorgefühl der Wahrheit entgegenzustellen, so haben heute die Anhänger Darwins die schwache Handhabe ergriffen, um darauf die Transmutation der Geschlechter zu stützen Er betont dann, daß in dem fortlaufenden Profil die Schnecken durcheinander geworfen erscheinen und daß die Hilgendorfschen Angaben über ihre regelmäßige Folge beim weiteren Abbau der Sandgruben nicht wiedererkannt werden konnten.

Ein anderes Beispiel hat Neumayr 1875 aus dem Pliozän des östlichen Mediterrangebietes beschrieben. Während das miozäne Mittelmeer noch weit nach Ungarn und Wien reichte und auch große Flächen Nordafrikas überflutete, trat im Pliozän eine weitreichende Verlandung ein. Meeresbuchten wurden in brackische Becken verwandelt und durch große Flüsse rasch ausgesüßt; Flußschlamm erfüllte weite Senken und überall mußte sich eine vorher weitverbreitete Molluskenfauna an den Wechsel des Salzgehaltes gewöhnen oder rasch zugrunde gehen. So lebten auf den damals gebildeten Tonen und Kalken Muscheln und Schnecken von einer geradezu erstaunlichen Formenunbeständigkeit. Die artenreichen Congerien, die als ganz verschiedene Gattungen (Adacna, Monodacna, Didacna) beschriebenen Abkömmlinge der Cardien, die ungemein

variabeln Melanopsis-Arten und die veränderlichen Paludinen mit glatter oder kantiger Schale finden sich entweder in gesonderten Rassen oder regellos durcheinander gemischt.

Auch aus solchen Schneckenfaunen lassen sich Übergangsreihen gruppieren, die uns zeigen, wie mannigfaltige Gestalten unter dem pathologischen Einfluß des wechselnden Salzgehaltes entstanden und gleichzeitig nebeneinander lebten — aber sie beweisen nicht die historische Veränderung einer älteren in eine jüngere Formenwelt.

Das bekannteste Beispiel für die Veränderlichkeit der Organismen verdanken wir den Untersuchungen von O. Marsh über die Entwicklung der Pferde, und wenn man die so wunderbar erhaltenen eozänen, oligozänen, miozänen und pliozänen Vertreter dieser Familie im Peabody-Museum gesehen hat, dann muß man staunen über die Fülle der lehrreichen Formen, die hier vereint sind. Die Arbeiten von Osborn haben unsere Kenntnisse erweitert und gezeigt, wie die bald im Wald, bald auf grasreichen Ebenen lebenden Gattungen in Anpassung an so verschiedene Lebensweise sich veränderten. Aber ebenso klar geht aus Osborns Schilderungen hervor, daß nirgends eine fortlaufende Überlagerung aller dieser Gattungen und Arten bekannt geworden ist. Nur die über das ganze riesige Gebiet des nordamerikanischen Westens ausgedehnten Sammelexpeditionen haben von ganz verschiedenen Fundgebieten das Material gewonnen, das jetzt in Newhaven vereint zur übersichtlichen Darstellung gekommen ist. Gerade Osborn zeigt, wie die einzelnen Gattungen wandern, ihre Lebensbezirke verlagern, und wenn sie in der alten Heimat wieder erscheinen, mit neuen Gattungsmerkmalen auftreten. Man kann die inneren Zusammenhänge dieser verschiedenen Gattungen durch die Entwicklungslehre befriedigend erklären, aber Beweise für die Annahme Darwins, daß sich durch kleine allmähliche Änderungen der Artmerkmale eine Art in eine andere Art und eine Gattung in die ihr folgende verwandelt hätten, bietet auch die Geschichte der Equiden nicht.

Die Tatsache, daß ein Geschlecht in dem einen Lande zuerst mit primitiven Formen auftritt, dann mit jungen, davon abzuleitenden Gattungen in einem anderen Kontinent erscheint, um endlich nach abermaligen Verwandlungen wieder die alte Heimat zu besiedeln, läßt sich aus der Entwicklungsgeschichte der Proboscidier erkennen, die durch v. Stromers Forschungen so klar verfolgt worden ist. Im Eozän von Nordafrika erscheint Moeritherium und im Oligozän folgt ihm hier Palaeomastodon. Vergleichend anatomisch ist die miozäne Gattung Mastodon leicht daran zu schließen, aber Größe wie Verbreitung sind grundverschieden; es fehlen alle vermittelnden Formen. Mastodon ist ein Bewohner Eurasiens, wandert im Obermiozän nach Nordamerika, und während es bei Beginn des Diluviums in Europa ausstirbt, verbreitet es sich durch Mexiko weiter nach Süden bis nach Bolivien.

Trotz aller Verwandtschaft ist die Gattung Elephas, die im Pliozän von Ostindien zuerst erscheint, eine von Mastodon scharf geschiedene Gattung, die bald die ganze Erde besiedelt und zwei deutlich verschiedene Zweige unterscheiden läßt, von denen der eine in Afrika, der andere in Ostindien und Sumatra noch heute lebt.

So führt uns eine kritische geologische Prüfung der immer wieder zitierten „Schulbeispiele" paläontologischer Übergangsreihen zu der Überzeugung, daß keine der behandelten Fälle als Beweis für eine Variabilität der Arten im Sinne von DARWIN betrachtet werden darf. Die innere Notwendigkeit der Entwicklungslehre der Organismen in fortlaufenden phyletischen Reihen wird dadurch in keiner Weise eingeschränkt, aber die allmählichen Übergänge von einer Art zur andern und von einer Gattung zu einem genetisch verwandten Geschlecht kann man aus dem geologischen Auftreten der fossilen Lebewelt nicht herauslesen.

Wir werden in einem späteren Abschnitt untersuchen, wie sich diese Dinge erklären lassen. Aber ich möchte schon an dieser Stelle betonen, daß der Artwechsel so oft, ja beinahe ausnahmslos mit einem Fazieswechsel verbunden ist und man daher einen ursächlichen Zusammenhang zwischen beiden Erscheinungen anzunehmen wohl berechtigt ist.

Wenn wir ohne den Tatsachen Zwang anzutun die lebenden Organismen nach ihrer feinen systematischen Sonderung prüfen, so können wir drei verschiedene Fälle leicht unterscheiden. Es gibt

1. gute oder beständige Arten, und diese bilden unzweifelhaft die Mehrzahl in der rezenten Lebewelt;
2. gibt es Arten, unter denen man mehr oder weniger scharf gesonderte Rassen unterscheiden kann, welche meist ein bestimmtes Lebensgebiet oder einen geographisch begrenzten Standort bewohnen;
3. endlich gibt es „schlechte" oder unbeständige Arten; doch sind diese in der Minderzahl.

Ganz dieselben Unterschiede beobachten wir in der fossilen Lebewelt. Auch hier überwiegen die beständigen Arten, zwischen denen gelegentlich auch „schlechte" Arten auftreten, aber diese gehören immer zu den Ausnahmen.

Freilich darf man sich, um diese Fragen nachzuprüfen, nicht an die Leitfossilien halten. Sie sind meist bodenfremde Einwanderer oder eingeschleppte Fremdlinge, und ihre Verbreitung wird mehr durch tiergeographische Wanderungen als durch die phyletische Umbildung bestimmt.

Aber wenn man die oft in weit ausgedehnten Schichten gesteinbildenden Faziesfossilien von verschiedenen Standorten vergleicht, dann erkennt man bald geographisch umgrenzte Rassen, und gelegentlich findet man dazwischen auch einen Fundort, wo, wie QUENSTEDT sagt:

„einem bald aller Mut zum Namenmachen vergeht, weil hier offenbar ähnliche Rassenbildungen stattfanden wie bei unseren Haustieren.“

In früheren Zeiten, als die Fundorte noch ergiebiger waren, als man immer wieder Steinbrüche öffnete und nicht Zement und Flußkies zu Kunststeinen vermischte und als noch nicht aus theoretischen Gründen gefordert wurde, daß eigentlich alle fossilen Arten unbeständig sein müßten, sind diese Fragen viel unbefangener untersucht und beurteilt worden.

An jene älteren Autoren müssen wir anknüpfen, wenn wir auf paläontologischem Wege die Frage prüfen wollen, wo und wie haben sich die Arten geändert, und wie groß waren die genetischen Schritte, die von einer Art zur anderen, von einer älteren zu einer geologisch jüngeren Form führten.

Botanik und Zoologie haben gelehrt, daß alle rezenten Lebewesen miteinander verwandt sind, die Paläontologie kann diese Ansicht mit ihrem chronologisch geordneten, durch ungeheure Zeiträume leitenden Material nur bestätigen.

Aber was jene Wissenschaften mit Hilfe der rezenten Tatsachen nicht entscheiden können, das ist die Frage, ob die Veränderungen der Organismen in zeitlich und räumlich begrenzten Heimstätten erfolgt sei, oder ob sie mit einer migratorischen Wanderung verknüpft waren.

An den aus ihrem Muttergestein herauspräparierten einzelnen Fossilien, selbst wenn ihre Fundorte auf der Beischrift genau bezeichnet sind, kann man dieses Problem nicht lösen. Man kann Arten und Gattungen zu schönen morphologischen Reihen ordnen, kann sie durch genetische Linien verbinden, aber man gewinnt damit keine neue Einsicht.

Um die Aufgaben zu verstehen, welche der Paläontologie bei der Untersuchung phyletischer Probleme zufallen, ist es wichtig, sich die Methoden klar zu machen, welche von Botanikern und Zoologen in demselben Sinne angewandt werden.

Zunächst hat man es mit einem Material zu tun, dessen geographische Verbreitung und Lebensweise allgemein bekannt ist. Mag ein Süßwasserpolyp, ein parasitischer Wurm oder ein Seeigel zum Gegenstand einer derartigen Arbeit gewählt werden, stets werden jene bionomischen Tatsachen stillschweigend vorausgesetzt und geben wichtige Hilfsmittel für die weitere Prüfung.

Dann wird die gesamte Anatomie des betreffenden Tieres mit anderen ähnlichen gleichzeitig lebenden Arten und Gattungen vergleichend untersucht; endlich verfolgt man die chronologisch aufeinanderfolgenden Stadien seiner Keimesentwicklung, um danach die später erworbenen jüngeren Eigenschaften von den älteren zu unterscheiden und unter Rücksichtnahme auf die Lebensweise der Jugend-

formen solche cänogenetische Eigenschaften, welche in Anpassung an diese vorübergehende Lebensweise erworben wurden, auszuschalten.

Zuletzt aber versucht man auf experimentellem Wege die Anlage der Organe und die Erbfestigkeit einzelner Eigenschaften zu prüfen und den Weitergang der Artänderung zu verfolgen.

Die Mehrzahl der paläontologischen Arbeiten, die sich in gleicher Richtung bewegen, gehen unter Anlehnung an die Ergebnisse jener zoologischen Arbeiten an ein Material heran, dessen Eigenart ganz besondere Forschungswege fordert. Man übernimmt zoologische Resultate, die auf dem einen oder anderen der obengenannten Wege gewonnen wurden, setzt einige fossile Hartgebilde in die Lücken jener Formenreihen hinein, ergänzt sie nach dem Liegenden oder versucht die durch den Zufall der Sammler in einem Museum vereinten Arten oder Gattungen fossiler Formenkreise zu einem geradlinig verbundenen Stammbaum zu ordnen.

Es ist begreiflich, daß ein auf diesem Wege gewonnenes Ergebnis nicht dieselbe Beweiskraft besitzt, als die mit bewährten Methoden gewonnenen Anschauungen der zoologisch-botanischen Literatur, und man kann es vollkommen verstehen, weshalb viele paläontologische Feststellungen mit einer gewissen Reserve betrachtet worden sind.

Wenn das reiche und ungemein wertvolle Tatsachenmaterial der Paläontologie entwicklungsgeschichtlichen Problemen dienstbar gemacht werden soll, müssen folgende Forderungen gestellt werden:

Die meisten Leitfossilien und alle nach dem Tode von ihrer Heimstätte entfernten Fossilien (Plankton, Nekroplankton, Pseudoplankton, Nekton) und ebenso alle leichtbeweglichen Tiere des Festlandes sind für solche Arbeiten nicht geeignet.

Auch die selten oder vereinzelt vorkommenden Reste können zwar nach den Grundsätzen der Entwicklungslehre verwertet, angeordnet und verknüpft werden, aber als Beweise für oder gegen die Lehre vom Artwechsel kommen sie nicht in Frage.

Dagegen werden alle Faziesfossilien, die in großer Häufigkeit und an zahlreichen Aufschlüssen gesammelt werden können, dafür wohlgeeignet sein — vorausgesetzt, daß sie vom Bearbeiter selbst gesammelt oder vorhandene Vorräte durch eigene Aufsammlungen ergänzt wurden.

Es gilt zunächst, unter Berücksichtigung der nur im Aufschluß erkennbaren, späteren, postmortalen und diagenetischen Veränderungen die Heimstätte der Art nachzuweisen, was durch die Häufigkeit wohlerhaltener und zerbrochener Reste leicht auszuführen ist.

Die weitere Aufgabe muß darin bestehen, innerhalb des fossilführenden Horizontes geographische Standorte und die darauf lebenden Rassen zu unterscheiden. Bei dieser Arbeit sind die Lebensgenossen

in statistischer Übersicht zu berücksichtigen, und besonders sind die Größenverhältnisse daraufhin zu prüfen, ob es sich um Rassen- oder Altersunterschiede handelt. In fossilreichen Gesteinen ist nach dem früher Gesagten diese Entscheidung nicht allzuschwer.

Ungemein wichtig ist die Untersuchung der Lebensweise, der Lebensumstände und der Todesursache der fossilen Formen. Auch diese Fragen lassen sich, wie ich dies an der Fauna der Solnhofener Plattenkalke durchzuführen versuchte und im ersten Teil dieses Buches erläutert habe, nur im Aufschluß an den umhüllenden Gesteinen und an der Art der Einbettung prüfen.

Nachdem so die Tatsachengruppen festgestellt worden sind, die man bei botanisch-zoologischen Arbeiten als gegeben voraussetzen darf, kann der zweite, wichtigere Teil unserer Untersuchung beginnen. Denn es gilt jetzt, die im horizontalen Streichen der fossilführenden Schicht gefundenen Rassen zu vergleichen, ihre Abhängigkeit von Fazies und Standort, Lebensgenossen und Feinden, und besonders ihre Beziehung zu den Lagerungsverhältnissen der Schicht (Concordanz, Discordanz, Auskeilen, Mächtigkeit usw.) zu untersuchen.

Wenn diese Vorarbeiten geschehen sind, gehen wir von dem gegebenen Horizont ins Liegende, um nach älteren Mutationen oder Ahnen, und ins Hangende, um nach mutierenden oder sprungweise auftretenden Nachkommen zu suchen. Nicht immer wird man sie in derselben Schichtenfolge finden. Denn oft verlagerte sich die Heimstätte der Art und ein weitentfernter Aufschluß bietet die Fortsetzung der phyletischen Leitlinien. Aber wenn eine solche Arbeit mit reichem, selbstgesammeltem Material an zahlreichen Aufschlüssen im Felde methodisch durchgeführt wird, dann werden sich auf diesem Wege Fragen lösen lassen, die bisher nur gestellt oder unbefriedigend entschieden worden sind.

Literatur

Blumenbach, Über den Bildungstrieb, Göttingen 1781. — Blumenbach, Beiträge zur Naturgeschichte, Nr. XII. Einteilung des Menschengeschlechts in fünf Spielarten, Göttingen 1790. — Bronn, im N. Jahrb. f. Min. 1860, S. 116. — Burmeister, H., Geschichte der Schöpfung, 1845 (Leipzig). — Cuvier, G., Discours sur les Révolutions de la surface du globe, 1826 (Paris). — Darwin, Ch., Über die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl, 1899 (Stuttgart). — Delhaes, W., Beiträge zur Morphologie und Phylogenie von Haliotis Linné. Zeitschr. f. induktive Abstamm. u. Vererbungslehre Bd. II, 1909, Heft 5. — Diener, C., Über einige Konvergenzerscheinungen bei triadischen Ammoneen. Sitzungsber. d. k. Akademie d. Wissensch. Wien, Mathem.-naturw. Klasse, Bd. CXIV, Abt. I, 1905, S. 663. — Diener, C., Die Stammesgeschichte der Ammoniten im Lichte der Abstammungslehre Steinmanns. Zentralbl. f. Min. usw. Jahrg. 1908, Nr. 19, S. 577. — Diener, C., Zur Frage der Rassenpersistenz bei Ammoniten. Zentralbl. f. Min. usw. Jahrg. 1909, Nr. 14, S. 417. — Dollo, L., Les Ancêtres des Mosasauriens. Bull. Sc. XXXVIII, 1903. — Felix, J., Vergleichende Bemerkungen zu den Mammutskeletten von Steinheim a. d. Murr (in Stuttgart) und von Borna (in Leipzig). Jahresh. d. Vereins f. vaterl. Naturk. in Württemberg,

1912. — Fraas, E., Der geol. Aufbau des Steinheimer Beckens. Jahresheft d. Ver. f. Naturk. in Württemberg, 1900, S. 41. — Heer, O., Die Urwelt der Schweiz, Zürich 1865. — Holland, F., Über alpine Formenreihen von Psiloceras aus Schwaben. Jahresh. d. Vereins f. vaterl. Naturk. in Württemberg, Stuttgart 1900, Bd. 56, S. 498—509. — Jaekel, O., Über das System der Reptilien. Zoolog. Anzeiger Bd. XXXV, Nr. 11, 1910, S. 324. — Kormos, Th., Paläontologische Mitteilungen. Beiträge zur Kenntnis der thermalen Melanopsisarten von Püspökfürdo. Bd. XXXIII (1903) Földtani Közlöny, S. 496. — Kormos, T., Uj adatok a Püspökfürdo elö csigainak ismeretehez, Budapest 1904. — Lamarck, Zoologie philosophique, Paris 1809. — Linnaei, C., Systema Naturae, 1748. — Lull, R. S., The Evolution of the Elephant. Amer. Journal of Science, Vol. XXV, March 1908, S. 169. — Lull, R. S., The Yale Collection of Fossil Horses. Peabody Museum, Yale University 1913. — Lull, R. S., The Evolution of the Horse Family. Amer. Journal of Science Vol. XXIII, March 1907, S. 161. — Marr, J. E., Address Geological Society of London, 17. Februar 1905. — Marsh, O., Introduction and succession of life in America. Am. Ass. adv. of science 1877. — v. Murchison, Siluria. — Osborn, The age of mammals, New York 1910. — Pfeffer, G., Die Umwandlung der Arten, ein Vorgang funktioneller Selbstgestaltung. Verhandl. d. Naturwissensch. Vereins Hamburg (3. Reihe), I, 1894. — Plate, L., Die Variabilität und die Artbildung nach dem Prinzip geographischer Formenketten bei den Cerion-Landschnecken der Bahama-Inseln. Archiv f. Rassen- u. Gesellschafts-Biologie 4. Jahrg., 4. Heft, 1907, S. 433. — Quenstedt, Die Gastropoden, Leipzig 1884, S. 151. — Richter, R., Zur stratigraphischen Beurteilung von Calceola (Calceola sandalina Lam. n. mut. lata u. alta). N. Jahrb. f. Min. usw. Jahrg. 1916, Bd. II, S. 31—46 u. Taf. III—IV. — v. Schlechtendal, D., Untersuchung über die karbonischen Insekten und Spinnen von Wettin. Leop.-Carol. Deutsch. Akadem. d. Naturf. Bd. XCVIII, Nr. 1, 1912. — Semper, M., Über Artenbildung durch pseudospontane Evolution. Zentralbl. f. Min. usw. Jahrg. 1912, Nr. 5, S. 140—151. — Silberschlag, J. E., Geogenie oder Erklärung der mosaischen Erderschaffung nach physikalischen und mathematischen Grundsätzen, Berlin 1780. — Smith, B., Phylogeny of the Races of Volutilithes petrosus. Academy of Natural Sciences Philadelphia, March 1906, S. 52. — Smith, B., A New Species of Athleta and a Note on the Morphology of Athleta petrosa. Proc. Academy of Natural Sciences, Philadelphia, May 1907, S. 229. — Smith, W., Stratigraphical System of Organized Fossils, London 1817. — Suess, E., Über die Verschiedenheit und die Aufeinanderfolge der tertiären Landfaunen in der Niederung von Wien. Sitzungsber. d. Akad d. Wissensch., Wien 1863, S. 326. — Tornquist, A., Die biologische Deutung der Umgestaltung der Echiniden. Zeitschr. f. induktive Abstamm. u. Vererbungslehre 1911, Bd. VI, Heft 1 u. 2, S. 29. — Vadasz, M. E., Entwicklungsgeschichtliche Differenzierung in der Familie Phylloceratidae. Földtani Közlöny Bd. XXXVII, 1907, S. 399. — Wepfer, E., Über den Zweck enger Artbegrenzung bei den Ammoniten. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Gesellsch. Bd. LXV, Jahrg. 1913, Nr. 8/10, S. 410.

34. Der Tod

Während der Zoologe und Botaniker die meisten organischen Formen im lebenden Zustand untersuchen kann, ist der Paläontologe auf gestorbene Exemplare angewiesen und muß die ganze Erdgeschichte aus Gräbern und Leichenfeldern rekonstruieren. Zwar bietet uns deren Einbettung in das fossilführende Gestein viele Anhaltspunkte, um auch die Lebenserscheinungen der Vorzeit kennen zu lernen, aber überall müssen wir mit mortalen und postmortalen Veränderungen rechnen.

Die Lebenszeit eines jeden Wesens wird von den Vorgängen des Stoffwechsels begleitet und bestimmt. Neue Moleküle treten in den Körper ein, werden darin zerlegt und assimiliert; gleichzeitig aber zerfallen lebendige Teile und die abgebauten Moleküle werden wieder ausgeschieden.

Solange der Aufbau der Gewebe deren Abbau überwiegt, wächst das Lebewesen, bis jene der Art oder Rasse eigentümliche Größe und Ausbildung der Organe erreicht ist und die Person eine kürzere oder längere Zeit auf diesem Stadium verharrt. Der Überschuß des Stoffwechsels wird hierbei zur Bildung von Fortpflanzungsprodukten verwendet.

Dann beginnt die Zeit des Alterns; der Abbau überwiegt, die Widerstandsfähigkeit gegen äußere oder innere Schädigungen nimmt ab, und endlich tritt der natürliche Tod ein.

Auch die große Mehrzahl der Fossilien sind eines natürlichen Todes gestorben, und selbst wenn Generationen von Knochen und Schalen übereinandergehäuft sind, darf man nicht an Katastrophen denken, die alle diese zahlreichen Lebewesen gleichzeitig vernichtet haben sollen.

Das zeigen uns besonders die organischen Gesteine, die aus zahllosen Generationen von kalkabscheidenden Tieren oder zellulosebildenden Pflanzen bestehen. Immer wieder klingt die mosaische Flutsage nach, wenn solche fossilen Massen durch „Zusammenschwemmung“ oder, wie man es auch bezeichnet hat, durch Allochthonie erklärt werden. Es gibt ebenso selten allochthone Kohlen wie allochthone Brachiopoden- oder Korallenkalke.

Zu solchen veralteten Annahmen kann man nur kommen, wenn man die aus ihrem geologischen Gesteinsverband isolierten Fossilien betrachtet — sie werden unhaltbar, wenn man die fossile Lagerstätte untersucht.

Nur in seltenen Fällen haben vereinzelte Unglücksfälle den Tod und die Einbettung der fossilen Lebewesen bedingt.

Die Aetosaurus-Gruppe in Stuttgart besteht aus ganz verschiedenen guterhaltenen Exemplaren. Ihre so seltsame Vereinigung läßt sich erklären, wenn man annimmt, daß aasfressende Tiere an der im Windschutz einer hohen Düne zerfallenden Leiche eines verendeten Genossen versammelt, durch hereinbrechende Sandmassen erstickt und eingebettet wurden.

Die Elefanten von Kannstatt mögen durch eine schlammige Mure überrascht worden sein — berichten doch die „indischen Sprüche“, daß der indische Elefant zähen und kleberigen Boden ängstlich meidet, weil er darauf zugrunde geht.

Auch die Einbettung der berühmten Mammutfunde in Sibirien und Alaska spricht für eine ähnliche Todesursache. Bekanntlich findet man diese Kadaver nur außerhalb der von diluvialem Eis überdeckten Ge-

biete. Sie liegen in dem gefrorenen Moorboden, und es ist daher ganz ausgeschlossen, daß sie im Leben von der Eiszeit überrascht und etwa in Gletscherspalten gestürzt seien. Vielmehr zeigt uns das Petersburger Exemplar noch heute die Stellung eines mit dem Hinterleib einsinkenden Tieres. Man fand im Schlunde 12 Kilo Futter, das aus Wollgras, Carex, Ranunculus, Papaver und Thymian bestand, also die bunte Flora einer sumpfigen Wiese, auf die sich das schwere Tier zu weit vorgewagt hatte. Lange nach der Einbettung gefror infolge einer Klimaverschiebung der Tundraboden und so werden heute diese „Moorleichen" an den Neusibirischen Inseln durch die Meeresbrandung oder durch das Hochwasser der Lena freigewaschen.

Die große Zahl von Hippopotamusresten auf allen nichtvulkanischen Inseln des Mittelmeers (Cypern, Kreta, Malta, Sizilien, Capri, Sardinien) beweist, daß diese Inseln die letzten Reste eines flußreichen Landes sind, auf denen die gefräßigen Wassertiere in großen Rudeln lebten, bis eine Senkung ihren Lebensraum zerlegte und ihren raschen Untergang bedingte. Sehr wichtig ist es, daß auch E. primigenius auf Capri, im Val d'Arno ebenso wie bei Cromer mit Hippopotamus zusammen gefunden wird, also ebenfalls ursprünglich ein Bewohner wasserreicher Niederungen war.

Als Nordeuropa bei Beginn des Diluviums von ausgedehnten Schneedecken verhüllt wurde, starb der größte Teil der dort lebenden Sumpfflora. Die Fauna von ganz Skandinavien, dem Ostseegebiet und Norddeutschland verhungerte oder drängte vor den wachsenden Eisdecken nach Süden. Die interglazialen Abschmelzperioden boten zwar der Fauna wiederholt neue Siedelungsplätze, aber auf dem von Schmelzwasser durchwaschenen Boden gab es nur wenig Pflanzenoasen, und so mußten die überlebenden Riesentiere weite gefährliche Wanderungen nach solchen Beständen unternehmen, auf denen ganze Rudel und versprengte Fremdlinge zugrunde gingen und in den verschiedenartigsten periglazialen Sedimenten eingebettet wurden.

Für die Beurteilung der diluvialen Lebewelt ist der Fundort von Rixdorf von grundlegender Bedeutung. Denn hier lebten und starben gemeinsam: Elephas antiquus, Elephas trogontherii, Elephas primigenius, Ovibos fossilis, Rhinoceros antiquitatis, Rhinoceros Mercki, Cervus euryceros und Rangifer grönlandicus.

Gerade weil diese verschiedenen Tiere sonst getrennt gefunden und zur stratigraphischen Bestimmung verschiedener Phasen der Diluvialzeit verwendet werden, ist diese Faunenliste von Wichtigkeit. Wenn man erwägt, daß heute nur unter besonders günstigen Umständen ein Kieslager entstehen könnte, in dem die Zähne des E. indicus und E. africanus vereint eingebettet sind, obwohl wir ganz genau wissen, daß beide gleichzeitig leben, dann wird man auch die Fundorte, wo E. antiquus im Liegenden und E. primigenius im Hangenden auftritt, anders beurteilen lernen.

Es kommt hinzu, daß viele diluvialen Fundorte als Jagdplätze der Urmenschen betrachtet werden müssen, deren Fossilgehalte also durch künstliche Umstände beeinflußt sind:

Auf den Spalten des Ilmgrabens entsprangen während der Diluvialzeit bei Taubach und Ehringsdorf warme Quellen, aus denen sich bei rascher Abkühlung harte Travertine und an kühlen Wasserstellen die weicheren Kalksinterkrusten bildeten, die so wie bei Mammuthotsprings im Yellowstonepark als wassererfüllte Becken gegen das Ilmtal hinauswuchsen. Angebrannte Knochen und Backzähne, wie man sie vor 40 Jahren bisweilen mit großen Steinen zu einer Feuerstelle vereint beobachten konnte, das Vorwiegen von schweren Schädel- und Beckenknochen, die Seltenheit der Rippen und die künstlich gespaltenen Röhrenknochen zeigen ebenso wie die Seltenheit von ausgewachsenen Tieren, daß hier Jagdplätze der Urmenschen waren. Hier sammelten sich im kalten Winter die Tiere an der warmen Quelle, hier kamen die Jäger zu gemeinsamen Unternehmungen zusammen — aber wenn im Laufe der Jahre gegen 100 Nashornschädel gefunden wurden, so entspricht diese Zahl nicht etwa der „Strecke" einer einzigen Treibjagd, sondern der mühsamen Einzeljagd von Jahrhunderten. Wenn E. primigenius eine Lebensweise führte, die es nicht nach dem Ilmtal gelangen ließ, oder wenn es zu vorsichtig war, um sich an den Quellen von Taubach und Ehringsdorf erbeuten zu lassen — dann könnte man sich über sein Fehlen dort nicht besonders wundern.

Das Aussterben der nordamerikanischen Büffel und das allmähliche Verschwinden vieler afrikanischer Steppentiere unter dem vernichtenden Einfluß der vordringenden Kultur hat die Ansicht begründet, daß auch die fossilen Tiere nur durch die Einwirkung des Menschen ausgestorben seien.

Für die Beurteilung dieser Frage muß man im Auge behalten, daß die meisten Tiere mehr Nachkommen erzeugen, als die Zahl der Erwachsenen beträgt. In Darwins Lehre von der natürlichen Auslese gewinnt diese Tatsache eine solche Wichtigkeit und ist an so vielen Beispielen erläutert worden, daß wir deren Zahl hier nicht zu vermehren brauchen. Jede Tier- oder Pflanzenart würde nach wenig Generationen einen großen Teil des verfügbaren Lebensraumes besiedeln, wenn nicht die überwiegende Mehrzahl der Jugendstadien durch die Selektion äußerer Umstände vernichtet würde. Es besteht also ein Wechselverhältnis zwischen der Zahl der produzierten Keime, der Kraft der auslesenden Faktoren und der Verbreitung und Zahl der erwachsenen Individuen. Die letztere nimmt ab, wenn die Selektion kräftiger wird, aber ebenso, wenn sich die Zahl der Nachkommen bei der Fortpflanzung vermindert; eine geringe Schädigung der Keimdrüsen der Muttertiere wirkt daher viel verhängnisvoller als die Vernichtung einer größeren Anzahl von erwachsenen Exemplaren.

Der aussichtslose Kampf der Menschen gegen die Mäuse- und Hamsterplage in Europa oder die in Nordamerika und Australien so schädlichen Kaninchen ist der beste Beweis dafür, daß selbst mit den modernsten Mitteln pathogener Bakterien, Feuerwaffen und Abwehrmaßregeln ein Geschlecht nicht künstlich vernichtet werden kann, sofern es nur zahlreiche Nachkommen produziert.

Wenn in historischer Zeit die Riesenvögel von Neuseeland, die Rhytina Stelleri auf den Behringsinseln, der Didus von Madagaskar oder die Riesenschildkröten von Réunion durch den Menschen ausgerottet worden sind, so handelt es sich in allen diesen Fällen um räumlich isolierte Relikte, die, auf engem Lebensraum zusammengedrängt, leicht vertilgt werden konnten und wahrscheinlich auch um Formen, deren geringe Fortpflanzungsfähigkeit das rasche Aussterben erleichterte. Daß während der Diluvialzeit zahlreiche Säugetiere in Europa ausgerottet oder vollständig ausgestorben sind, von denen viele eine Beute des Urmenschen wurden, ist bekannt. Aber sie verschwanden, weil ihre Futterpflanzen durch die Schneehülle vernichtet und ihr Lebensraum durch die Eisdecke eingeengt wurde.

Gerade das Abdrängen einer bestimmten Rasse von ihrem gewohnten Standort, wie solches im Laufe jeder geologischen Veränderung immer wieder erfolgen mußte, konnte, selbst wenn die Erwachsenen dadurch nicht geschädigt wurden, doch für die Nachkommen verhängnisvoll sein. Die in der Schweiz angesiedelten Pyrenäensteinböcke vermehrten sich nicht, weil in ihrem neuen Standort die Schneedecke einige Wochen später schmilzt, als die Jungen geboren werden, so daß jeder Wurf zugrunde geht. Bei Meerestieren müssen ähnliche bionomische Bedingungen ebenso verhängnisvolle Wirkungen ausüben können.

Wenn also in einem Gestein große und kleine Exemplare durcheinanderliegen, dann müssen wir annehmen, daß die letzteren vor der Zeit gestorben sind, und je größer der Unterschied in den Dimensionen gleichzeitig gefundener Exemplare ist, desto wahrscheinlicher kommen besondere Ursachen des Todes in Frage. Das Auftreten der Tsetsefliege oder pathogener Bakterien, kurz alle epidemisch auftretenden Krankheiten bringen alte und junge Exemplare gleichzeitig zum Absterben und selbst die Meerestiere scheinen bisweilen Seuchen oder ähnlichen Unglücksfällen zu erliegen.

Es sind manche Fälle bekannt, wo auch tote Meerestiere in solchen Mengen angetroffen wurden, daß man an eine gemeinsame Todesursache denken muß.

Beim Einbruch der Landenge von Limfjord 1825 beobachtete Forchhammer, wie die mit dem Salzwasser eindringenden Sandmassen Millionen toter Fische überdeckten. Auch eine reiche Vegetation von Zostera verschwand bei jenem Einbruch. Palacky beschreibt, daß 1878

nach einem Sturm bei Messina 1700 Exemplare von Tiefseefischen (Scopelus) ans Land geworfen wurden.

Am Tage vor der Entdeckung der Vulkaninsel S. Ferdinandea sah man zahllose tote Fische im Meere schwimmen. Kapitän PARSON sah solche Mengen von Sygnathus anguineus, daß es unmöglich schien, einen Schiffseimer voll Wasser einzuholen, in dem nicht 4—5 Exemplare waren.

In der Bucht von Callao kamen 1853 (infolge von Schwefelwasserstoff-Exhalationen?) große Mengen toter Fische an die Meeresoberfläche und starben unter zuckenden Bewegungen.

An der Nordamerikanischen Ostküste war 1882 eine Fläche von 230 qkm mit den Leichen eines großen Fisches (Lopholatilus) bedeckt.

1880 sah man bei Galveston eine Fläche von 275 qkm mit kranken Landschildkröten übersät, die rasch abstarben.

Die fossilen Fische scheinen sehr geeignet zu sein, um die erdgeschichtlichen Umstände ihrer Einbettung zu erforschen. Die Fundorte von Ösel, Bundenbach, Mansfeld, Perledo, Raibl, Seefeld, Lyme Regis, Solnhofen, Levina, Libanon, Sendenhorst, Mte. Bolca, Elm und Messel werden dem biologisch Denkenden eine Fülle interessanter Aufgaben bieten.

So mag sich manche fossilreiche Schicht durch eine einmalige gleichzeitige Todesursache vieler Exemplare derselben Art erklären, allein solche Vorfälle können für sich allein die Fortdauer der Art nicht beeinträchtigen.

Wenn der Paläontologe vom Sterben der fossilen Tierwelt spricht, so meint er auch in der Regel nicht das natürliche und frühzeitige Absterben eines Individuums, sondern das Aussterben einer Formengruppe. Es wäre vielleicht vorsichtiger zu sagen: das Verschwinden einer Form im Hangenden einer sie bergenden Gesteinsmasse. Denn wie wir schon früher auseinandergesetzt haben, kann diese Tatsache auf ganz verschiedenen Wegen zustande kommen:

1. Die Hartgebilde eines im Liegenden unverletzt eingebetteten Fossils wurden während der Bildung eines hangenden Gesteins in unkenntlichen Trümmern eingefügt.

   So häufig auch organische Hartgebilde zerstört worden sind, so läßt sich doch in den meisten Fällen durch umfassende Beobachtung und Aufsammlung diese Möglichkeit ausschalten.

2. Das an einem Fundort einst lebende Tier wanderte nach einem anderen Standort aus.

   Auch die Vorgänge der Wanderung sind, wenn wir uns auf häufigere Fossilien beschränken, ohne Schwierigkeit zu erkennen und in ihrer Tragweite zu übersehen.

3. Die bis zur Bildung eines bestimmten Horizonts lebende Art starb bei Beginn der folgenden Zeitspanne aus.

Man hat öfters behauptet, daß ein Aussterben fossiler Formenkreise überhaupt nicht stattgefunden habe. Schon der Verfasser der Genesis war dieser Ansicht und neuerdings ist sie von G. Steinmann sogar als wissenschaftliche Hypothese verfochten worden.

Die Tatsache, daß es vom Kambrium bis zum Tertiär zahllose leitende Arten gibt, mit deren Hilfe wir Schichtenglieder wiedererkennen und über ganze Kontinente hinweg als gleichzeitige Bildungen bestimmen können, beweist völlig einwurfsfrei, daß zu allen Zeiten der Erdgeschichte Arten ausgestorben und neu entstanden sind.

Auch für zahllose, als leitend erkannte Gattungen läßt sich zeigen, daß sie im Laufe der geologischen Geschichte neu auftreten und, ohne Nachkommen zu hinterlassen, wieder verschwunden sind.

Es fragt sich nun, ob auch Familien, Ordnungen und Klassen nach einer chronologisch bestimmbaren Lebensdauer völlig verschwunden — also ausgestorben sind.

Da es in vielen Tiergruppen auch skelettlose „Weichtiere“ gibt, hat G. Steinmann die Frage aufgeworfen, ob nicht alle als ausgestorben betrachteten Gruppen in solchen skelettlosen Nachkommen noch heute weiterleben. Dementsprechend hält er es für möglich, daß sich die dickschaligen Rudisten (seltsam umgeformte Muscheln der Kreidezeit) während des Tertiärs durch Verlust ihrer Kalkmasse in Aszidien verwandelt haben möchten — aber es dürfte wohl keinen Biologen geben, der eine solche genetische Verknüpfung zweier Tierstämme für denkbar hält.

Wir haben schon früher darauf hingewiesen, daß sich aus der großen Zahl rasch wechselnder und dadurch leitender Arten manche Formen von großer Lebensdauer abheben, die uns die ununterbrochene Kontinuität des Lebens vom Kambrium bis zur Gegenwart deutlich vor Augen führen. Aber fast noch merkwürdiger ist es, daß gerade solche Formen, die man nach ihrer Organisation oder ihrem geologischen Auftreten als besonders primitive Stammformen betrachten muß, und von denen wir ganze Formenkreise leicht abzuleiten vermögen, besonders lebenszäh sind. Lingula gehört zu den einfachst gebauten Brachiopoden und findet sich doch im Silur ebenso zahlreich wie in der Gegenwart.

Nautilus hat ebenfalls seit dem Silur allen Wechsel der Ereignisse überdauert und ist der erste wie der letzte Vertreter der mit einer gekammerten involuten Schale versehenen Cephalopoden.

Lagena erscheint im präkambrischen Ton des Baltenlandes wie heute als einfachste Schalenform der Foraminiferen.

Selbst Dictyonema, mit der die Graptolithen zuerst auftreten, lebt in Nordamerika bis in das Karbon hinein, während die große Menge der anderen Verwandten auf einzelne Silurstufen beschränkt sind.

Sogar in der Klasse der Wirbeltiere treffen wir ähnliche Beispiele. Wenn der Urfisch Amphioxus heute noch lebt, so dürfen wir mit großer

Wahrscheinlichkeit annehmen, daß er ein Relikt aus der ältesten Urzeit ist, und das älteste Reptil aus dem Unterperm von Niederhäßlich nannte CREDNER Paläohatteria wegen seiner großen Übereinstimmung mit dem heute noch auf Neuseeland vorkommenden Sphenodon (Hatteria), dessen primitive Eigenschaften schon OWEN erkannte.

Man möchte also glauben, daß einfache Stammformen zwei wichtige Eigenschaften in sich vereinen, nämlich die Fähigkeit, zahlreiche verschiedenartige Zweiggruppen zu bilden und doch den größeren Teil ihrer Nachkommen zu überleben.

Ganz anders müssen wir jene so häufigen Fälle beurteilen, wo eine vorher blühende, in Arten, Gattungen und Familien sich gliedernde Formengruppe langsam oder rasch aus der Schichtenfolge verschwindet und später niemals wieder beobachtet wird. Hier handelt es sich nicht bloß um ein Absterben der sich folgenden Generation, sondern um ein Aussterben eines ganzen Zweiges oder Stammes. In solchen Fällen können wir auch nicht an menschliche Eingriffe als Ursache denken, denn der Mensch tritt erst im Diluvium auf und kann für das Aussterben aller vorher lebenden Gruppen, und besonders für das der Meerestiere, nicht verantwortlich gemacht werden. Wir müssen also versuchen, aus der Organisation der zuletzt Überlebenden und den geologischen Umständen, unter denen sie verschwinden, Ursache und Wirkung herauszulesen.

Man hat vielfach die natürlichen Todesursachen eines aus Altersschwäche sterbenden Tieres auf das Aussterben ganzer Formenkreise übertragen und so sind die seltsam abgeänderten „Nebenformen" der Ammoniten in der Kreide für ihr Aussterben am Schluß dieser Periode verantwortlich gemacht worden. Die bloße Tatsache, daß Scaphites in der mittleren und oberen Kreide sowie Turrilites und Bakulites in ganz verschiedenen Horizonten gefunden werden, sich also mit derselben Gestalt in zahlreichen Generationen immer wieder vererbt haben, macht die Anwendung des Wortes „senil" auf diese Nebenformen unmöglich.

Der Tod zahlreicher Personen kann aber wohl zum Aussterben einer Form führen, wenn er wiederholt und vor Eintritt der Geschlechtsreife erfolgt. Hierbei spielt die Zahl der Keime, die eine trächtige Mutter entwickelt, eine große Rolle. Manche hochstehende Tiere, wie Elefanten, Hirsche, Wiederkäuer oder Arthropoden, die nur ein einziges Junges gebären, sind viel mehr gefährdet als ein Brachiopod, eine Muschel oder ein Fisch.

Auch die Zahl der gleichzeitig lebenden natürlichen Rassen einer Art, die durch Anpassung an bestimmte Lebensbedingungen entstanden waren, ist von grundlegender Bedeutung für ihre Lebensdauer. Denn je mehr Rassen an ähnlichen, aber doch räumlich getrennten Standorten leben, desto wahrscheinlicher ist es, daß selbst tiefgreifende geologische Veränderungen ohne Schädigung der Art ertragen werden.

Wenn aber durch die Gleichartigkeit weitverbreiteter Umstände, geringe Veränderlichkeit der Art oder früheres Aussterben nur eine oder wenige Rassen vorhanden waren, dann genügt eine geringe Schädigung ihrer Lebenskraft, um sie zum Aussterben zu bringen.

Die Möglichkeit, widrigen örtlichen Umständen aktiv oder passiv zu entgehen, beeinflußt auch die Lebenszähigkeit. Daher wird die Beweglichkeit der Jungen und die geographische Ausdehnung des Lebensraumes zu einer wichtigen Vorbedingung für die Lebensdauer.

Für den biologisch Denkenden liegt allerdings in der Tatsache, daß nicht nur Arten, sondern ebenso Gattungen, Familien, Ordnungen und Klassen ausgestorben sind, ein überaus schwer zu lösendes Problem. Schon Voltaire hat sich damit beschäftigt, weil man zu seiner Zeit mit den fossilen Muscheln in den oberitalienischen Bergen die weite Verbreitung einer lebenvernichtenden Flut beweisen wollte. Er erklärte die Fossilien für „Pilgermuscheln", die von frommen Wallfahrern in den Bergen verloren worden seien.

Das Aussterben der Arten infolge der Einwirkung natürlicher Ursache ist freilich meist monodynamisch durch das Eintreten eines erdgeschichtlich auffallenden Ereignisses erklärt worden.

Phantastische Vorstellungen über die Ursachen und Wirkungsart tellurischer Veränderungen der Erdrinde klingen noch heute nach, wenn man versucht, mit tektonischen „Umwälzungen" das Aussterben von Arten und Gattungen zu erklären. Der Geologe weiß, daß selbst die Hebung der Alpen und des Himalaya so langsam erfolgte, daß die über diesen gefalteten Streifen lebende Flora und Fauna zwar zum langsamen Auswandern veranlaßt, aber nicht geschädigt wurde. Die Flora des Unterkarbon ist durch zahlreiche Mittelglieder mit den Pflanzen des Oberkarbon und des Rotliegenden verbunden, und selbst die riesigen Schuttmassen, die während der karbonischen Faltung des mitteldeutschen Berglandes entstanden, enthalten in den vorgelagerten Kohlenflözen nicht „zusammengeschwemmte" Opfer der Gebirgsfaltung, sondern die durch lange Generationen gewachsene Sumpfflora der Niederungen zwischen karbonischen Bergketten oder permischen Vulkanen.

Ebensowenig können die im Gefolge von tektonischen Zerreißungen der Gesteine auftretenden Erdbeben als Ursache des Aussterbens von Arten betrachtet werden. Ja, es dürfte selbst bei einem schweren Erdbeben, das Tausende von Menschen in ihren zusammenstürzenden Häusern vernichtet, kaum eine Landschnecke und noch weniger eine Meeresfauna geschädigt werden.

Auch vulkanische Eruptionen, die ganze Länder mit ihren Aschen- und Lavadecken überschütteten, haben niemals größere Änderungen der Lebewelt hervorgerufen. Die mitteldevonischen Diabase, die unterpermischen Porphyre, die triadischen Melaphyre von Südtirol und die

tertiären Basalte schalten sich zwischen fortlaufend gedeihende Floren und Faunen ein. Es ist daher auch kein Fall bekannt, wo eine vulkanische Phase als Formationsgrenze erkannt und auf weitere Erstreckung verfolgt worden wäre.

Daß vulkanische Aschenregen, wenn sie weite Landflächen überdecken, die dort wachsende Flora schädigen, ist bekannt. Nach dem Bombenregen, der 1906 die im Norden der Sommawand so lange Jahrhunderte geschützten Orte (Somma, Ottaiano) verheerte, zeigten die Baumanlagen am Abhang der Somma schwere Schädigungen. 1—2 m tief waren die Stämme in den groben Bomben versunken, die Rinde der horizontalen Äste war durch den Steinregen bis auf einen schmalen Streifen auf der Unterseite abgerieben, aber von dem hier noch vorhandenen Kambium begann schon im Jahre 1907 eine frische Rindenschicht um die kahlen Äste zu wachsen.

Es ist merkwürdig, mit welcher Zähigkeit sich selbst in Gelehrtenkreisen durch die Berichte von Missionaren und Ethnographen die alte Sintflutsage bis heute erhalten hat. Für den Geologen, der die Ausdehnung einer größeren Wassermenge aus den hinterlassenen Sedimenten und den Zeitpunkt ihres Auftretens aus deren Fossilgehalt mit aller Sicherheit bestimmen kann, sind solche Flutsagen nicht diskutierbar. Wohl aber wurden im Laufe der Erdgeschichte große Landflächen wiederholt vom Meere überflutet, und solche Transgressionen, deren Eigenart wir später eingehend behandeln werden, haben jedesmal alle dort lebenden Landpflanzen und -Tiere ausgerottet. Da die Flora des Landes aus vielzelligen festgewurzelten Pflanzen besteht, die nur zu gewissen Zeiten ihre beweglichen Samen ausstreuen und von denen einzelne nur unter besonders günstigen Umständen eine ferne Küste erreichen, ist die Wiederbesiedelung eines aus dem Meere wieder auftauchenden Landes mit großen biologischen Schwierigkeiten verbunden.

Daher treffen wir in festländischen Ablagerungen im Hangenden einer marinen Schichtenfolge meist eine völlig neue Landwelt und von Cuvier, der diese biologischen Kontraste im Pariser Becken auf wiederholte Katastrophen und Neuschöpfungen zurückführt, bis zu den neusten Diskussionen über die Grenzen der Formationen spielten diese Tatsachen eine wichtige Rolle. Ganz anders ist die Frage zu beantworten, ob durch die Verlandung eines größeren Meeresgebietes, die man meist als Regression bezeichnet, eine dort lebende Wasserwelt vernichtet werden könne, und ob nicht auch bei der Neubesiedelung eines transgredierten Geländes ähnliche biologische Hindernisse auftreten wie auf festländischem Grunde.

Die Fauna des Zechsteinmeeres starb durch Versalzung und Einengung des Wassers, die Lebewelt des Muschelkalks und des Jurameeres ging durch Zufüllung der Meeresräume zugrunde, und da derselbe Boden

jedesmal erst nach einer längeren Festlandsperiode wieder Meeresgrund wurde, brachte der neu hereindringende Ozean eine völlig neue Fauna mit, deren leitende Arten und Gattungen die Durchführung scharfer Formationsgrenzen gestatten.

Aber fortlaufende marine Schichtenfolgen vom Karbon bis zur Triaszeit und von dieser bis zur oberen Kreide, die man in den Alpen wie in Asien kennen lernte, haben gezeigt, daß dort die einheitlichen Zusammenhänge des marinen Lebens nicht unterbrochen waren und daß unsere scharfen Formationsgrenzen dort nicht wiederzufinden waren.

Dieses grundsätzlich verschiedene Verhalten des Meeres und des Festlandes beruht zunächst darauf, daß jeder, selbst der ausgedehnteste Kontinent, eine große „Insel" ist, deren Küste fortlaufend vom Weltmeer begrenzt wird. Taucht er unter den Meeresspiegel, dann verschwindet er sowohl als geographische wie als biologische Einheit und alle auf ihm lebenden und an seine besonderen Lebensbedingungen angepaßten Pflanzen und Tiere werden restlos vertilgt.

Das Weltmeer dagegen bildet, trotz aller ihm eingefügten Inseln, Archipele und Festländer, eine völlig einheitliche Fläche, und seine Grenzlinie gegen das Land ist ununterbrochen. Seine Untiefen verbinden die flachen Säume des Landes, sein Wasser ist einheitlich gesalzen und wird durch Wellen und Strömungen immer wieder gemischt. So dehnt sich überall derselbe Ozean mit einer durch Übergänge verbundenen Lebewelt, und aus dem unerschöpflichen unendlichen Körper des universellen Weltmeeres dringen transgredierend weite Buchten gegen das Land vor und ozeanographische Regressionen führen diese Nebenmeere immer wieder in die gemeinsame mütterliche Meeresflut zurück.

Aber ein zweiter, nicht minder wichtiger Faktor für jenen Gegensatz von Land und Meer bildet die Pflanzenwelt. Die nahrungspendende Flora des Landes setzt sich aus bodenständig angewurzelten, vielzelligen Gewebepflanzen zusammen, die an günstigen Standorten unter dem Einfluß klimatisch-solarer Umstände in üppiger Fülle gedeihen. Es hängt ganz von den zufälligen Umständen der meteorologischen Lage ab, ob ein neuentstehendes Land unter der Herrschaft nivaler Schneedecken, eines ariden Wüsten- oder eines niederschlagsreichen Tropenklimas aus dem Wasser emporsteigt.

Wenn sich aber darauf eine noch so üppige Flora entfaltet hat, die eine reiche Fauna ernährt, so genügt schon eine bloße meteorologische Klimaänderung, um der Tierwelt in mehr oder minder tiefgreifender Weise alle Existenzmöglichkeiten zu nehmen. Ein verwüsteter oder vereister Kontinent muß ebenso neu besiedelt werden, als wenn er vom Meere überflutet gewesen ist.

Indem der Boden friert und eine nur im Sommer auftauende Oberschicht das Wachsen der Wurzeln erlaubt, indem eine Schneedecke die

oberirdischen Pflanzenteile umhüllt und zerbricht, indem die Vegetationsperiode immer mehr eingeengt und die Fortpflanzung gefährdet wird, geht der größte Teil der Flora zugrunde, und wenn endlich die Schnee- und Eisdecken abschmelzen, dann dehnt sich eine weite kalte Wüste an Stelle üppiger Sumpfwälder. Die Urnahrung der dort lebenden Fauna wird vernichtet. Sie muß vor Hunger sterben oder wird zu weiten Wanderungen gezwungen So können wir die tiefgreifenden Veränderungen der festländischen Flora und Fauna am Schluß der permischen wie der diluvialen Vereisung wohl verstehen.

Aber auch dem Wüstenklima möchte ich als auslesender, vernichtender und neuschöpfender Kraft große erdgeschichtliche Bedeutung beimessen.

Sobald ein vorher niederschlagsreiches Gebiet regenarm wird, geht die endemische Flora auf großen Flächen zugrunde und damit vermindert sich die Nahrung aller Tiere. Nur an den Flußufern hält sich ein Streifen Pflanzenwuchs und die verlandenden Seen bilden vereinzelte Oasen. Es werden daher auch alle Wassertiere sterben müssen, wenn sie nicht, wie wir früher zeigten, Einrichtungen erwerben, um die Kiemenatmung durch Lungen oder Tracheen zu ersetzen. Die fischreichen Sandsteine aus dem schottischen Oldred, wo auf einer einzigen Platte 27 Eemplare von Holoptychius Flemmingi mit wohlgeordnetem Schuppenkleid liegen, sind sprechende Zeugen jenes Absterbens.

Selbst auf flache Meeresbecken erstreckt sich bald der Einfluß des ariden Klimas; sie verwandeln sich in Wüstenhaffe, in denen sich der Salzgehalt des Meerwassers anreichert. Gerade die Schichten im Liegenden der deutschen Zechstein-, Muschelkalk-, Keuper- oder Tertiärsalze bilden hierfür interessante Beispiele.

Grundverschieden sind die Schicksale der Wasserflora bei transgredierenden oder regredierenden Bewegungen des Weltmeeres. Denn sie besteht vorwiegend aus kleinen einzelligen Planktonwesen, die in ungeheuren Schwärmen die diaphane Oberschicht des Wassers erfüllen und überall mit bewegt werden, wo ein neues Meer erscheint. Mag an einer abradierten Triasküste das blaue Salzwasser zahlreiche Uferbuchten erfüllen, mag eine weitgeöffnete Senke als breite Meeresbucht ins Land dringen oder eine gewaltige Transgression ganze Kontinente überfluten, stets bringt das Meerwasser seine Flora mit und überall steht der einwandernden Tierwelt reiche Nahrung zu Gebote. Die marine Fauna selbst aber kommt immer wieder aus dem gemeinsamen Schoß des Lebens, hat sich im Herzen des Weltmeeres ungestört durch seine randlichen Bewegungen kontinuierlich weiterbilden können, und so sind wir imstande, jede scheinbare Lücke zwischen jenen durch Einschaltung festländischer Bildungen getrennten Faunen durch fortlaufende Artenreihen zu überbrücken.

Ganz anderer Art sind die geologischen Umstände, unter denen die Lebensbezirke des Meeresgrundes geschädigt oder gar vertilgt werden. Immer handelt es sich um Teilerscheinungen, welche zwar eine kleinere oder größere fossilleere Schichtenreihe zwischen versteinerungsreichen Bänken bilden, aber doch das sprungartige Wiederauftreten derselben Fauna im Hängenden verständlich machen. Man denke an die Terebratula vulgaris im deutschen Muschelkalk oder an E. primigenius (= indicus) in präglazialen, interglazialen und postglazialen Schichten.

Lojianco hat im Jahre 1906 die Wirkungen eines Aschenregens auf die Meeresfauna untersucht:

In der Straße von Neapel lag eine 30 cm hohe Aschenschicht, mit einem Gewicht von 15 Kilo auf den Quadratmeter; in der Kampagna wechselte die Mächtigkeit von 10—50 cm.

Auf sandigem Meeresgrunde in der Nähe des Posilipp erreicht die Aschenschicht noch eine Mächtigkeit von 2—10 cm. In den ersten Tagen nach dem Aschenregen war es unmöglich, mit dem Bodennetz zu arbeiten, weil es sich sofort mit großen Mengen der noch locker ausgebreiteten Asche füllte. Das Meer zeigte bis zum 10. April noch 5 km vom Ufer eine schokoladenbraune Farbe und noch am 5. Mai beobachtete L. beträchtliche Aschenmengen im Wasser schwebend bis auf 8 km Küstenweite.

Die Wirkungen dieser feinen Staubasche auf die Fauna war ausschließlich mechanisch. Das Plankton war in 20 m Tiefe spärlich geworden, aber schon in 100 m noch reich. Freilich war die schleimige Oberhaut vieler Tiere so mit Asche bedeckt, daß sie zu schmutzigen Klumpen zusammengeballt starben.

Infolge des Absterbens so vieler Planktontiere wurde nach einigen Tagen auch der Sardinenfang unergiebig, und erst nach vier Wochen traten die planktonfressenden Hochseefische wieder zahlreich auf.

Unter den benthonischen Tieren richtet der Aschenregen große Verheerungen an. Die Siedelungsplätze von Sycon raphanus wurden ganz vernichtet, Leuconia, Esperia, Reniera, Leucosolenia, Siphonochalina waren schwer geschädigt, aber Lieberkühnia calyx, Axinella verrucosa und Schmidtia dura waren völlig gesund.

Während die Hydroiden geschädigt waren, blieben die zahlreichen anderen Anthozoen lebenskräftig.

Von Würmern litten Sipunculus, Nephthys und Glycera. Sphaerechinus starb rasch, in einem einzigen Netzzug erbeutete man 47 große leere Schalen. Auch Echinus, Arbacia, Strongylocentrotus und Dorocidaris wurden durch den Aschenregen getötet. Antedon rosaceus wurde zerstört, seine Pinnulae waren von den Armen abgefallen. Aus 400 m Tiefe aber kam Antedon phalangium gut erhalten empor.

Die Asteriden und Ophiuriden widerstanden dem Aschenregen, nur Luidia ciliaris fand sich in zerbrochenem Zustand. Einige nach Wochen gefangene Holothurien waren zusammengezogen, fahl und ohne Eingeweide.

Die Kiemen vieler Krebse hatten durch die Asche gelitten, ihre Beine waren teilweise abgeschnürt und viele tot.

Die im Sand eingegrabenen Muscheln (Cardium, Solen, Solecurtus, Cytherea, Donax) hatten unter der deckenden Aschenschicht schwer gelitten, waren emporgekrochen und bedeckten in zahlreichen Personen die Aschenschichten, wo sie rasch starben. Eine Menge Sepien trieben tot auf dem Wasserspiegel.

Gewisse Meerestiere, die man sonst bei Neapel nur selten erbeutet, fing man nach dem Aschenregen in zahlreichen Exemplaren, da sie durch die Aschenschicht emporkrochen, aber weiter zu leben vermochten.

So Anthozoen (Cereactis und Ilyanthus), Würmer (Halla, Nephthys, Glycera, Sipunculus), Echinodermen (Echinocyamus, Phyllophorus, Holothuria), Muscheln (Cytherea, Mactra, Cardium, Pandora), Schnecken (Dentalium, Pleurobranchea, Oscanius, Tethys), Cephalopoden (Sepiola, Sepia, Elodone), Krebse (Lambrus, Ilia, Thia, Dorippe) und Fische (Uranoscopus, Gobius, Lophius, Solea, Rhomboidichthys).

Viele in der dunklen Tiefe lebenden Tiere, die man vorher nur bei Nacht fischen konnte, kamen infolge der Aschentrübe in höhere Regionen und wurden in großer Zahl erbeutet (Siconia, Nika, Palaemon, Squilla, Sphyraene). Manche Tiere schienen, von einer gewissen Panik ergriffen, ihre Faziesgebiete verlassen zu haben: so fanden sich die Seichtwasserbewohner Calianassa und Palaemon in 25 m Tiefe.

Auch zahlreiche Exemplare von Smaris alcedo, die sich in Tiefen von 50—80 m zum Laichen zu sammeln pflegen, wurden nahe der Küste gefangen. Da alle Algen zwei Wochen lang mit Asche bedeckt waren, starben große Mengen derselben ab.

Ende April bedeckte eine völlig leblose, mit zahlreichen Hartgebilden übersäte Aschenschicht den Meeresgrund bis zu 30 m Tiefe, aber schon Ende Mai war die Asche mit dem darunter lagernden Sand oder Blauschlamm vermischt, und diese neue Oberschicht enthielt schon zahlreiche Jugendformen von Mollusken, Würmern und Krebsen. Natica Josephinia baute sich ihr Nest, Würmer ihre Röhren aus den Aschenkörnchen, das Plankton wurde wieder normal, die Sardinenzüge erschienen aufs neue und hinter ihnen jagten die munteren Delphine. Aber die benthonische Fauna brauchte lange Zeit, bis sie wieder den Boden beleben konnte.

Die Folgen einer größeren Eruption konnten am 20. Mai 1883 an der Insel Krakatau im Sundameer verfolgt werden. Eine weiße Dampfsäule stieg 11 km hoch in die klare Luft und verwandelte sich bald in eine graue Stratuswolke, aus der ein feiner Aschenregen niederfiel, der

auf der Korvette Elisabeth eine Höhe von 2—4 cm erreichte. Ein Erdbeben war nicht vorausgegangen und nur am 27. Mai wurde eine kleine Erschütterung beobachtet. Am 26. August erfolgte eine zweite ungeheure vulkanische Explosion, infolgederen eine Meereswelle von 2—4 m durch die ganze Inselwelt eilte und etwa 36000 Menschen, die am Strande wohnten, vernichtete. Trotz dieser tragischen Folgen für die Bewohner von Java kann man aber daraus nicht auf eine entsprechende Zahl von getöteten Tieren schließen. Ja ich glaube, daß die gewaltige Seebebenflut weder auf den Korallenriffen noch auf den anderen tierreichen Flächen des Meeresgrundes bleibende Spuren hinterlassen hat. Der Strandwall ausgeworfener Reste ist wahrscheinlich um einige Meter landeinwärts verlagert worden, eine Schicht zertrümmerter Meerestiere gemischt mit festländischen Überresten hat vielleicht eine organische Trümmerschicht gebildet und ein „Bonebed" hinterlassen, aber sonst dürfte diese verheerende Katastrophe geologisch kaum erkennbar werden. In der Sundastraße fielen ungeheure Mengen von Bimssteinblöcken, die auf Krakatau eine Mächtigkeit von 60 m erreichten, und die Menge der hier gefallenen Asche betrug etwa 18 Kubikkilometer. Von hier wurden große schwimmende Bänke von Bimstein weitergetrieben, während der feinere Aschenregen in einer Mächtigkeit bis zu 5 cm eine Fläche von 100 km Halbmesser bedeckte.

So mögen durch diese über eine große Fläche fallenden Aschenregen die von Neapel geschilderten biologischen Erscheinungen auf einem großen Gebiet des Sundameeres eingetreten und dabei eine Zwischenschicht von besonderer lithologisch-paläontologischer Eigenart gebildet worden sein. Aber die Fortdauer der dort lebenden Arten konnte dadurch nicht unterbrochen werden.

Es ist bekannt, wie leicht sich Aasfresser am Meeresgrund wie auf den belebten Gebieten des Festlandes oder in der Wüste, durch den Geruch der Leiche weither angelockt, bei ihr versammeln und sie zerstören, wenn sie nicht rasch abgeschlossen und von Sediment umhüllt wird. Das schönste Beispiel hierfür ist die Lagune von Solnhofen. Hier wurden bei Stürmen ganze Schwärme von Meerestieren auf den salzigen Schlamm geworfen, lockten die räuberischen Reptilien, Flugsaurier und Urvögel vom vindelizischen Festland heran, die dann selbst auf dem zähen Kalkschlamm festklebten. An der Lage der Flugsaurier sieht man, wie sie sich mühten, von dem klebrigen Boden freizukommen. Ganze Schwärme von Medusen wurden bei Pfalzpaint, von Saccocoma bei Eichstädt und Mörnsheim, ganze Schwärme von Leptolepis bei Langenaltheim im Schlamme konserviert und die zarten Schuppen und Skeletteile liegen vielfach noch heute im natürlichen Verband zusammen. Das Zahlenverhältnis der gleichzeitig gefundenen Arten, ihre Einbettung ins Gestein und vor allen Dingen das Vorkommen oder Fehlen jugend-

licher Exemplare wird bei solchen Betrachtungen interessante Schlüsse erlauben, wie ich dies in meiner Arbeit über Solnhofen versuchte.

Die rasche Senkung eines Meeresbeckens kann vielleicht große Strecken des Ufers trocken legen, Flachseetiere in die dunkle Tiefsee bringen und dadurch zahlreiche Tiergruppen vernichten, während ein stabiler Meeresgrund durch Zufüllung so langsam emporwächst, daß seine Bewohner sich leicht den neuen Verhältnissen anpassen können. So wird im allgemeinen durch solche Vorgänge die marine Lebewelt nicht sehr geschädigt. Es kommt dazu, daß die autotrophe Flora, die Urnahrung des Meeres, meist dem Plankton angehört und daher alle diese Veränderungen keinen wesentlichen Einfluß auf den ruhigen Gang der Rassen- und Artbildung ausüben können.

Klimatische Änderungen der Atmosphäre können nur geringen Einfluß auf die Verteilung der Wärme am Meeresgrund haben, daher ist es ungemein schwierig, das Aussterben von marinen Faunen mit jenen in Verbindung zu bringen.

Selbst eine große Eiszeit wird trotz aller im Meer treibenden Eisberge keine Schädigung der Meeresfauna herbeiführen. Im Gegenteil muß durch die dadurch bedingten größeren Temperaturunterschiede polarer und äquatorialer Wasser der Austausch des Oberflächen- und des Tiefenwassers nur noch lebhafter werden und die Tiefseefauna reichere Mengen von Sauerstoff und Nahrung erhalten.

Nur unter Berücksichtigung aller begleitenden bionomischen Umstände lassen sich Anhaltspunkte für die Beurteilung dieser Frage geben. Wir greifen zwei Zeitabschnitte heraus, welche durch eine völlige Neugestaltung der marinen Lebewelt ausgezeichnet sind und die man als Grenze der großen Zeiträume Paläozoikum, Mesozoikum und Kainozoikum betrachtet.

Die Karbonperiode ist zunächst dadurch gekennzeichnet, daß die zahlreichen Geschlechter mariner Tiere, die bis dahin eine dominierende Rolle im Ozean gespielt haben, allmählich verschwinden, und durch die weite Verbreitung von Gattungen, die vorher sehr selten waren.

Unter den neuauftretenden Formenkreisen fallen uns die leitenden Produktiden auf, deren dünne, noch heute silberglänzende Schale ebenso wie die hohlen Stacheln eine schwebende Lebensweise beweisen (abgesehen von jenen wenigen Formen, die an eine feste Unterlage angepaßt sind). Ebenso häufig werden die kugeligen Schwagerinen und rundlichen Fusulinen, die nach ihrem ganzen Vorkommen und Schalenbau auch als Bewohner der Hochsee gelten müssen.

Dann werden die älteren mit einem Saugmund versehenen Fische durch zahlreiche Geschlechter von Selachiern ersetzt, deren vielgestaltige Zähne auf eine räuberische Lebensweise und besonders auf die Fähigkeit, Schaltiere zu zerknacken, hindeuten. Die große Verbreitung geschichteter

Karbonkalke scheint mit dem Aussterben zahlreicher altzeitlicher Formenkreise in engstem Zusammenhang zu stehen.

Unter ganz anderen Umständen scheint sich die tiefgreifende Vernichtung der mesozoischen Faunen während der Kreidezeit vollzogen zu haben.

Gerade für das Ende der Kreidezeit ist es charakteristisch, daß ganz verschiedene Formenkreise aus der fossilen Fauna verschwinden. Mit den Ammoniten sterben die Belemniten, die Rudisten, Inoceramen Nerineen, aber ebenso die Ichthyosaurier, Mosasaurier und Pterosaurier, und ihre Stelle wird allmählich von den Knochenfischen, den höheren Krebsen, zahlreichen neuen Muschel- und Schneckenfamilien sowie den Walen und Delphinen eingenommen. Es müssen also an der Wende der Kreide- und Tertiärzeit allgemeine biologische Ereignisse eingetreten sein, welche die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ganz verschiedener Tiergruppen in demselben Sinne beeinflußten und Platz für neue Formenkreise schufen.

Wenn wir prüfen, welches neue Faunenelement von entscheidendem Einfluß auf die Zusammensetzung der marinen Lebensgenossen gewesen sein könnte, so tritt uns die staunenswerte Vermehrung der Teleostier entgegen. Im Jura nur in wenigen Gattungen vertreten, nimmt die Formenzahl und der Individuenreichtum der Knochenfische rasch so zu, daß man sie heute unbedingt als die wichtigsten und verbreitetsten Meerestiere betrachten muß. Ihre Nahrungsaufnahme ist sehr verschieden. Neben Schlammfressern und Pflanzenfressern sind besonders auf den Korallenriffen die muschelknackenden Formen für die Bildung formloser Schalenbruchstücke von Wichtigkeit. Aber die Nahrung der so zahlreichen Fischschwärme der Hochsee, die mit Millionen von Individuen alle Meere durchziehen, besteht in dem mikroskopischen Larven- und dem Kleinplankton, das sie mit der Reuse ihres Kiemenkorbes aus dem Wasser heraussieben. Ist doch sogar der große Wal auf diese Form der Nahrungsaufnahme angewiesen.

Die vernichtende und auslesende Wirkung, welche das rasche Auftreten der Knochenfische während der Kreidezeit zur Folge haben mußte, kann nicht hoch genug eingeschätzt werden, und wenn so viele tertiäre und rezente Meerestiere trotzdem einen so großen Anteil an den marinen Faunen nehmen, so ist das nur verständlich unter der Annahme, daß sie entweder eine unbegrenzte Zahl von Eiern und Larven produzieren oder daß diese durch ihren Aufenthaltsort und besondere Eigenschaften den Schwärmen der Knochenfische entgehen.

Wenn die Ammoniten und Belemniten in der Mittelzeit so üppig gedeihen konnten, so führe ich dies wesentlich auf das Fehlen der Knochenfischschwärme zurück, die bei ihrem ersten Auftreten das Meer mit planktonischer Nahrung so erfüllt finden mußten, daß sie selbst ebenso gedeihen konnten, wie sie andere Lebensgenossen ausmerzten.

Unserem polydynamischen Standpunkt entsprechend kann diese Ursache aber nicht allein als maßgebend betrachtet werden und wir wollen in späteren Abschnitten noch auf andere Umstände hinweisen, welche die faunistischen Gegensätze der großen Zeitalter verständlich machen.

Die verwickelten inneren Zusammenhänge einer bestimmten Fauna mit Geländegestalt, Klima und Lebensgenossen lassen sich nur überschauen und zergliedern, wenn man jede fossile Lebewelt im Rahmen liegender, umhüllender und hangender Gesteine betrachtet.

Auch auf diesem wichtigsten und eigenartigsten Forschungsgebiet der Paläontologie bedarf es noch langer mühsamer Einzelforschung, bis es gelingen kann, aus deren Ergebnissen ein Gesamtbild vom Werden und Vergehen des Lebens zu zeichnen.

Literatur

Abel, O., Über das Aussterben der Arten. IX. Congrès géol. internat. de Vienne 1903, Wien 1904, S. 739. — Branca, W., Allgemeines über die Tendaguru-Expedition. Archiv für Biontologie Bd. III. Heft 1, 1914. — Credner, H., Die Stegocephalen und Saurier aus dem Rotliegenden des Plauenschen Grundes bei Dresden. Zeitschrift d. Deutsch. Geolog. Gesellschaft Jahrg. 1888. S. 487. — Deperet, Ch., Die Umbildung der Tierwelt, eine Einführung in die Entwicklungsgeschichte auf paläontologischer Grundlage. Stuttgart 1909. — Diener, C., Der Anteil des prähistorischen Menschen an der Verarmung der pleistozänen Tierwelt. Mitteil. d. Geol. Gesellsch. Wien, V, 1912, S. 201. — Dönhoff. Über die mittlere Lebensdauer der Tiere. Archiv f. Anat. u. Physiol. Abtlg., 1881. — Grober, J., Die Vererbung der Immunität. Mediz. Klinik 1905. Nr. 18. — Handlirsch, A., Die Bedeutung der fossilen Insekten für die Geologie. Mitteil. d. Geol. Gesellsch. Wien. III. 1910, S. 503. — Hartmann, M.. Tod und Fortpflanzung. Eine biologische Betrachtung. München 1906. — Hoernes, R., Das Aussterben der Arten und Gattungen sowie der größeren Gruppen des Tier- und Pflanzenreiches. Festschr. d. k. k. Karl Franzens-Universität in Graz. 1911. — Koken, E., Paläontologie und Deszendenzlehre. Jena 1902, S. 20 u. 21. — Korscholt, E.. Lebensdauer, Altern und Tod. Beitr. z. pathol. Anotomie Bd. LXIII, 1917. — Kowalewsky, W., Monographie der Gattung Anthracotherium und Versuch einer natürlichen Klassifikation der Huftiere. Paläontographica XXII, 1873. — Lobianco, S., Azione della pioggia di cenere, caduta durante l'eruzione del Vesuvio dell Aprile 1906, sugli animali marini. Mitt. a. d. Zool. Station zu Neapel Bd. XVIII, Heft 1, 1906, S. 73. — Lull, R. S., Dinosaurian Distribution. American Journal of Science Vol. XXIX, 1910. — Menzel, G., Geologisches Wanderbuch für die Umgegend von Berlin. Stuttgart 1912. — Möbius, K.. Das Sterben der einzelligen und der vielzelligen Tiere. Biol. Zentralbl. IV, 1894. — Osborn, H. F., The causes of Extinction of Mammalia. The American Naturalist Vol. XL, 1906. — Palmer, T. S, The Jack Rabbits of the United States, Washington 1896 — Reindl, J., Bayerns in historischer Zeit ausgerottete und ausgestorbene Tiere. Mitteil. d. Geogr. Gesellsch. München, Bd. II, Heft 1, 1907, S. 41. — Reis, O. M., Handlirschia Gelasii nov. gen. et spec. aus dem Schaumkalk Frankens. Bayer. Akad. d. Wiss. II. Kl., Bd. XXIII, Abt. III, München 1909, S. 659. — Rogenhofer, A., Über ein Endglied des Ichthyosaurierstammes aus der Kreideformation. Verhandl. d. k. k. zool.-botan. Gesellsch. Wien, 1908, S. 38. — Roux, W., Die vier kausalen Hauptperioden der Ontogenese sowie das doppelte Bestimmtsein der organischen Gestaltungen. Mitteil. d. Naturf. Gesellsch. z. Halle, Bd. I, 1911. — Soergel, W., Elephas trogontherii Pohl und Elephas antiquus Falc. Palaeontographica Bd. LX, 1912. — v. Toll, E., Die fossilen Eislager

und ihre Beziehungen zu den Mammutleichen. Memoires Academie St. Petersburg Tome XLII, No. 13, 1895. — Vadasz, M. E., Regenerationserscheinungen an fossilen Echinoiden. Zentralbl. f. Min. usw. Jahrg. 1914, Nr. 9, S. 283. — Verbeek, R. D. M., Krakatau, Batavia 1885. — Walther, J., Die Fauna der Solnhofener Plattenkalke, Jena 1904. — Weismann, A., Über Leben und Tod. Eine biologische Untersuchung, Jena 1884. — Wieland, G. R., The Conservation of the Great Marine Vertebrates. Imminent Destruction of the Wealth of the Seas. Popular Science Monthly 1908, S. 425. — Wilckens, O., Über das Aussterben großer Tiergruppen im Laufe der Erdgeschichte. Naturw. Wochenschr., Jena 1911. — Wolterstorff, W., Über ausgestorbene Riesenvögel, Stuttgart 1900.

35. System und Stammbaum

Als Linné zum erstenmal den großzügigen Versuch machte, die rezenten Organismen nach bestimmten Merkmalen systematisch zu ordnen, ging er von dem Grundsatz aus, daß alle Arten gleichzeitig geschaffen worden, also erdgeschichtlich gleich alt seien. Ähnliche Arten vereinigte er zu dem Formenbereich einer Gattung, diese zu Familien, und schon die Wahl dieses Ausdrucks läßt erkennen, daß er eine Blutsverwandtschaft zwischen den Gattungen und Arten für möglich hielt. Aber da zu seiner Zeit das Dogma von dem kurzen Alter der Erde und ihrer Bewohner allgemein herrschte, lag ihm doch der Gedanke fern, daß die Gattungen als die Generationen einer Familie und die Arten als deren Zweige aufgefaßt werden müßten.

So wurde das Linnésche System zu einer flächenhaften Anordnung gleicher und ähnlicher, gleichzeitig lebender Formen, innerhalb deren die Typen, welche die meisten verstreuten Eigenschaften in sich vereinten, im Mittelpunkt einer Gruppe von Formen standen, die sich von diesem normalen Typus in den einzelnen Eigenschaften mehr oder weniger unterschieden.

Das Linnésche System mit seiner Doppelbezeichnung der einzelnen Form als Art und Gattung bewährt sich bei der Vermehrung der rezenten Formen; nur die an verschiedenen Standorten lebenden oder durch äußere Umstände miteinander gemischten Rassen (= Varietäten) veranlaßten manche Systematiker mit einem dritten Namen die weitere Formentrennung zu bezeichnen.

So würde man auch keinen prinzipiellen Schwierigkeiten begegnet sein, wenn man auch weiterhin nur die rezenten Formen im System vereinigt hätte. Denn die Gegenwart als geologische Zeitperiode zeichnet sich, genau wie jede der vorhergegangenen Formationen, durch die weite Verbreitung leitender Arten und die große Zahl ähnlicher, nach demselben Typus gebauter Formenkreise aus.

Erst durch die Entdeckung einer fossilen, d. h. zeitlich älteren Lebewelt, wurde man mit so fremdartigen Formen bekannt, daß die Harmonie und übereinstimmende systematische Ähnlichkeit der rezenten Formenkreise durchbrochen erschien.

Manche fossile Formen waren noch leicht in die rezente Lebewelt einzuordnen, andere unterschieden sich von ihr und verlangten eine Sonderstellung im System.

Man suchte dieser Tatsache gerecht zu werden, indem man einerseits die Problematica ausschied oder besser als „Anhang“ den einheitlich organisierten Formenkreisen gegenüberstellte. Trilobiten, Graptolithen und Ammoniten, Belemniten, Tabulaten und Stromarien, deren Formenreichtum immer mehr wuchs, konnten zunächst nicht den rezenten Typen angeschlossen werden, und ein langer Kampf wurde um jede dieser Gruppen geführt, bis sie, teilweise auf Grund methodischer vergleichend-anatomischer Untersuchung, teilweise aus Verlegenheit irgendwo ein Unterkommen fanden.

Daneben erkannte Cuvier aber besondere Formenkreise, die zwar Eigenschaften der rezenten Gruppen zeigten, allein in einer hier nicht gewohnten Verbindung. Gruppen, deren Bau aus einander fremden Elementen zusammengefügt erschien und die er als Kollektivtypen bezeichnete.

Von da ab war das zoologische System (sofern man nicht, wie dies noch heute manche Lehrbücher tun, auf die fossilen Gruppen ganz verzichtet) ein Kompromiß zwischen sich innerlich streitenden Forderungen. Denn man vermischte mit der in die Zeitschicht der Gegenwart eingeordneten rezenten gleichalterigen Fauna die Vertreter ausgestorbener Gruppen mit ausgeprägter historischer Eigenart und verband eklektisch zusammengestellte Formenkreise, die niemals zusammen gelebt haben.

Inzwischen wuchs mit der Zahl der bekannten Fossilien auch die Erkenntnis ihrer strengen chronologischen Trennung in zeitlich grundverschiedene Perioden.

Besonders aber wuchs am Studium der gewaltigen Mächtigkeit der fossilführenden Gesteine der Blick in die ungeheure Länge der geologischen Zeiträume.

Es muß als das besondere Verdienst von Ch. Lyell bezeichnet werden, daß er den kurzen intensiven Katastrophen, mit denen noch Cuvier die Schichtenfolge erklären zu können glaubte, den Gedanken der kleinen Veränderungen, der schrittweisen, allmählichen Umbildung der Erde entgegenstellte. Die Vorgänge der Verwitterung, der Erosion, der Gebirgshebung, der Vulkanbildung wurde von Lyell, Scrope und anderen weitgereisten Engländern so sorgfältig untersucht und durch so natürliche Ursachen erklärt, daß das ganze wissenschaftliche Denken in neue Bahnen gelenkt wurde.

Man darf Lyell geradezu als den Lehrer Darwins bezeichnen, und aus dem Briefwechsel beider Männer sieht man deutlich, daß Darwins Lehre eigentlich eine Übertragung geologischer Anschauungen auf biologische Vorgänge war.

Aber obwohl DARWIN das ganze, dem LINNÉschen System zugrunde liegende Ideengebäude einriß und eine völlig neue Anschauung des Zusammenhangs der Organismen gab, wurde die Systematik zunächst davon nicht berührt. Zoologische und paläontologische Systeme und Sammlungen führten ihr Sonderdasein weiter und eine organische Durchdringung mit den neuen Gedanken fand nicht statt.

Es läßt sich wohl verteidigen und erscheint aus dem Gang der Wissenschaft durchaus verständlich, wenn unsere paläozoologischen Lehrbücher alle fossilen Formenkreise, mögen sie im Kambrium oder in der Trias aufgetreten sein, einheitlich behandeln und zusammenstellen. Denn der Weg des biologisch Denkenden führt immer von der Gegenwart in die Vergangenheit; und so wird auch die unvergleichlich vollständigere rezente Flora und Fauna den methodologischen Ausgangspunkt jeder paläontologischen Systematik bilden müssen; nur wer die Anatomie der heutigen Fauna kennt, ist fähig, die Lücken der geologischen Urkunde und die aus dem Zusammenhang gerissenen Teile der fossilen Fauna richtig zu deuten und zu ergänzen. Wir werden auch gut daran tun, die einzelnen Formenkreise schrittweise von der Gegenwart aus in immer ältere Formationen hinab zu verfolgen.

Aber wenn wir hier auf einen Formenkreis stoßen, der wie eine Baumkrone vielästig nach oben endet, aus der kein einziger Zweig in höhere Regionen ragt, während sich nach unten die Äste zusammenfügen und in immer geschlossenere Stammgruppen übergehen, dann dürfen wir diesen zeitlich begrenzten Formenkreis nicht in eine späte Zeit hineinprojizieren und anatomisch zwischen Formen einordnen wollen, mit denen er nicht direkt verwandt sein kann.

Der in manchem geologischen Lehrbuch eingeschlagene Weg, die Fauna jeder einzelnen Periode für sich zu schildern und nur die älteren Formenkreise mit ihr zu vergleichen, sollte weiter ausgebaut werden, um die Zusammenhänge und die Fortschritte des Lebens besser überschauen zu können.

Aber die biologische Eigenart der gesamten Lebewelt der einzelnen Formationen äußert sich nicht in dem Vorhandensein oder Fehlen gewisser leitender Arten, sondern in der Anzahl besonderer Formenkreise und deren Differenzierung in Gattungen, Arten und den Anpassungserscheinungen an die gerade in jener Zeit vorherrschenden klimatischen, ozeanographischen und geographischen Bedingungen.

Wenn wir in dieser biologischen Weise das System der kambrischen Tiere ganz für sich betrachten, ohne auf die silurische Fauna oder irgendwelche später auftretende Formenkreise Rücksicht zu nehmen, muß die Eigenart dieser ältesten bekannten Lebewelt viel packender zum Ausdruck kommen, als wenn man die am Schluß des Kambriums aussterbenden völlig „problematischen“ Gruppen als Anhang

zu später erscheinenden Formenkreisen behandelt, mit denen jene nichts zu tun haben.

Den seit Linné prinzipiell wichtigsten Fortschritt auf dem Gebiete der systematischen Anordnung brachte Ernst Haeckel, als er zielbewußt das Linnésche System der Fläche durch eine neue Anordnung im Raume ersetzte und die gleichzeitig lebende Tierwelt in zeitlich verschieden alte Verwandte zerlegte, indem er verwandte Formen zu einem genetischen Stammbaum verband.

Heute, wo fast jede paläontologische Arbeit eine solche zeichnerische Darstellung enthält, welche die einzelnen Arten, Gattungen oder Familien chronologisch auseinander entwickelt, kann man sich gar nicht mehr vorstellen, wie eigenartig und neu Haeckels Gedanke war und wie er von den Systematikern der alten Schule bekämpft oder lächerlich gemacht wurde.

Allerdings liegen einige Fehlerquellen der Stammbaumzeichnung offen zutage: zunächst versucht sie ein räumliches Gebilde flächenhaft darzustellen; dann aber bedingt die Zahl der zu berücksichtigenden Einzelformen eine Anordnung, bei der die Entwicklungshöhe derselben nicht völlig zum Ausdruck kommt. Endlich aber beruht der zoologische Stammbaum auf einer chronologischen Anordnung gleichalteriger Organismen, und die Frage, ob die eine Art älter als die andere sei, läßt sich nur hypothetisch entscheiden.

Man ging, um diese Mängel auszuschalten, einerseits von dem Grundsatz aus, daß einfacher gebaute Wesen älter seien wie verwickelte und differenzierte Formen. Dagegen ist frühzeitig eingewandt worden, daß viele einfache Typen durch Rückbildung entstanden seien. Einige Gegner Haeckels waren sogar geneigt, die ganze Anordnung der Organismen aus hochentwickelten bis zu verkümmerten, einfachen Endformen zu leiten.

Der zweite Weg, um zu entscheiden, welche Gestaltung als die ältere und welche als die jüngere, später erworbene betrachtet werden dürfe, ergab sich aus den Resultaten der Ontogenie. Haeckel formulierte das schon von Oken und Bronn vorausgeahnte biogenetische Grundgesetz, wonach jede Lebensform im Laufe ihrer individuellen Entwicklung in abgekürzter Weise dieselben Stadien durchläuft, die bei der erdgeschichtlichen chronologischen Entwicklung durchmessen worden sind. Haeckel erkannte gern die Fälle der Cänogenese an, in denen durch Anpassung an die Bedingungen des Larvenlebens palingenetische Vorgänge verändert, ja sogar „gefälscht“ seien, aber trotzdem erschien ihm das biogenetische Grundgesetz so weittragend, daß er daraufhin die Stammesentwicklung der rezenten Lebensweise in einfachen Stammbaumverästelungen zeichnen zu können glaubte. Tatsächlich hat die Paläontologie oftmals ganz überraschend die Gültigkeit des biogenetischen Grundgesetzes dargetan. Ich erinnere an das Trilobitenstadium des

Limulus, die Kelchanalyse der Crinoideen an der Hand der Entwicklung von Antedon, oder die Arbeiten von BEECHER, SCHUBERT und WALCOTT über die Brachiopoden. Der Biologe würde aus der Ontogenie der Vögel geschlossen haben, daß deren Vorfahren einen bezahnten Schädel, Zehen an den Flügeln und einen langen vielwirbeligen Schwanz gehabt haben müssen. Wäre das Skelett von Archaeopteryx ohne Federkleid gefunden worden, so hätte man niemals behaupten können, daß er ein „echter Vogel“ mit Reptilienmerkmalen sei, und die vermittelnde Stellung des wunderbaren Bindegliedes wie seine Beweiskraft für die Richtigkeit des biogenetischen Grundgesetzes wäre viel deutlicher geworden.

Obwohl jeder zoologische Stammbaum eigentlich eine geologische Hypothese darstellte und die Forderung enthielt, durch paläontologische Funde seine Vermutungen zu beweisen oder zu entkräften, lehnten gerade die Paläontologen die Stammbäume zunächst völlig ab und ZITTEL hat es aus prinzipiellen Gründen bis zuletzt vermieden, solche zu zeichnen.

Als HAECKEL seinen ersten Stammbaum entwarf, war das paläontologische Material noch viel zu unvollkommen und zu wenig gesichtet, um aus ihm empirische Formenreihen aufzubauen. Nachdem im Laufe der folgenden Jahrzehnte unter dem Einfluß der Entwicklungslehre eine ungeahnte Fülle von paläontologischen Tatsachen bekannt geworden und altbekannte Funde in einem neuen Lichte erschienen, da hat HAECKEL in seiner „Systematischen Phylogenie“ noch einmal versucht, die ihm bekannten zoologischen, botanischen und paläontologischen Tatsachen zu einheitlichen Übersichtsstammbäumen zu vereinen, die als Grundlage weiterer Forschung ihren Wert behalten werden. Aber zunächst muß jetzt methodische Einzelarbeit einsetzen, die nur dann zu sicheren Ergebnissen führen wird, wenn Material und Forschungsweg vorher kritisch gesichtet wurden.

Nicht jede fossile Tiergruppe eignet sich für eine derartige Untersuchung. Voraussetzung ist es, daß die betreffende Form in *zahlreichen* Personen und *weitverbreiteten* Rassen gesammelt und auch durch eine leicht übersehbare *mächtigere Schichtenreihe* vom Liegenden zum Hangenden verfolgt werden kann.

Seltene und lokale Funde können in einem so gewonnenen Material wohl mit verwertet werden, aber sie dürfen nicht zum Ausgangspunkt der Untersuchung dienen. Die *chronologische Aufeinanderfolge* der einzelnen Formen, wie sie sich aus ihrer Einlagerung in die Gesteinsfolge ergibt, muß unbedingt die Grundlage der Anordnung bilden, denn man kann keiner Art morphologisch ansehen, ob sie älter oder jünger als eine andere ist. Ausbildung und Rückbildung der Organe können abwechselnd aufeinander folgen.

Auch die zeichnerische Anordnung der phyletischen Verzweigung bedarf einer kritischen Betrachtung. Die Mehrzahl der vorhandenen

Stammbäume geht von dem Bild etwa eines Birnbaums aus, der zunächst auf breiter weitverzweigter Wurzel mit einem einzigen Stamm senkrecht in die Höhe strebt, dann von dem Gipfelsproß unter spitzen oder flachen Winkeln einen oder gleichzeitig mehrere Hauptäste aussendet, die sich wieder spitzwinkelig vergabeln, um früher oder später in kleinen Zweigbüscheln zu enden.

Allein das Unterende eines biologisch-systematischen Stammbaums bildet keine verzweigte Wurzel, sondern kann ebenso leicht aus einer scharfumgrenzten einzelnen Art wie einer Anzahl gleichzeitig lebender Rassen bestehen. In dem einen Fall werden wir den neuen Stamm durch eine einzige senkrechte Linie, im andern durch eine parallele Liniengruppe darstellen müssen.

Wenig beachtet ist bisher die Frage nach dem Winkel, unter dem man die aus der Stammform entspringenden Hauptäste einzeichnen soll. Man könnte einwerfen, daß diese Frage eigentlich überflüssig ist. Allein man muß sich doch darüber klar sein, daß es sich bei einem paläontologisch gearbeiteten Stammbaum um eine Zeitfolge handelt. Je spitzere Winkel man anwendet, um die eine Form aus der anderen abzuleiten, desto mehr kommt die Vorstellung zum Ausdruck, daß ganz kleine, zahlreich aufeinanderfolgende Übergänge zwischen beiden Grenzformen existiert haben sollen.

Ich habe den Eindruck, daß es den paläontologischen Tatsachen mehr entspricht, wenn man wagerechte Seitenäste aus der Stammform entspringen läßt, um sie dann senkrecht umzubiegen und in die Höhe zu führen. So würde ein Bild entstehen, wie es viele Spalierbäume bieten. Man könnte so auch das unvermittelte Auftreten von Abkömmlingen eines anderen Hauptzweiges inmitten einer fortlaufenden Formenreihe zur Darstellung bringen.

Eingeordnet in eine nach Mächtigkeit genau gemessene und nach der Fazies wohl unterschiedene Schichtenfolge würde also der Stammbaum mit einer oder mehreren Stammformen beginnen; die gleichzeitig oder in kurzen Abständen horizontal sich abzweigenden Hauptäste würden durch ihre Länge das transgredierende Abwandern, die senkrecht nach oben umbiegenden Zweige die Zahl der neuentstehenden Rassen, ihre senkrechte Länge die geologische Lebensdauer jeder derselben und ihr Ende das Aussterben der einzelnen Zweige darstellen.

Ein so mit rechten Winkeln gezogener Stammbaum würde auch ermöglichen, das Wechsellagern verschiedener Formenreihen zur Darstellung zu bringen.

Aber neben dem linear gegliederten Stammbaum, zur Darstellung der phyletischen Zusammenhänge, ergibt sich aus dem paläontologischen Tatsachenmaterial noch ein anderes Problem, das ebenfalls für eine graphische Darstellung wohlgeeignet ist, nämlich die Stärke der Dif-

ferenzierung einer Gruppe in Arten oder Gattungen. In seinen Vorlesungen und seinen „Elementen der Geologie“ hat H. Credner durch die Breite eines Streifens, der durch die Formationsreihe hindurchziehend gedacht war, das rasche oder langsame Aufblühen und Vergehen einzelner Familien und Ordnungen zuerst übersichtlich darzustellen versucht.

Noch leichter verständlich erscheint es, wenn man auf einer, in die zwölf Formationen (oder selbst kleinere Unterabteilung) eingeteilten horizontalen Abszisse die Zahl der in jedem einzelnen Zeitabschnitt bekannten Arten oder Gattungen als Koordinaten einträgt und deren Enden durch eine Kurve verbindet. Man kann auf diesem Wege die Entwicklung der nacheinander auftretenden Gruppen leicht erläutern.

Leider gibt uns die geologische Urkunde keinen Aufschluß über die verwandtschaftlichen Zusammenhänge und die ältesten Formen der Tier- und Pflanzenstämme. Bei der Metamorphose der ältesten Gesteine sind auch die darin enthaltenen Versteinerungen zugrunde gegangen, und wo die älteste fossile Fauna auftritt, sehen wir nicht den Anfang der organischen Entwicklung, sondern es ist, als wenn der Vorhang eines Schauspiels aufgeht, nachdem zwei Akte schon abgespielt sind. Wir verfolgen den dritten Akt und können aus seinem Verlauf den Gang der beiden ersten erschließen, aber jede direkte Untersuchung derselben ist unmöglich. So werden wir also bei der Beurteilung der ersten Entwicklungsvorgänge dem Botaniker und Zoologen den Vortritt lassen und die hypothetischen Ansichten übernehmen, die sie auf Grund der vergleichenden Morphologie und des biogenetischen Grundgesetzes erschlossen haben.

In einer anderen Hinsicht könnten die zeitlich geordneten und durch lange Zeiträume verfolgbaren Fossilien eine wertvolle Ergänzung zoologisch-botanischer Untersuchungen bilden, wenn man nicht nur die Morphologie, sondern auch die Histologie der Hartgebilde ins Auge faßt.

Es ist überraschend, wie lebenszäh viele mikroskopische und chemische Eigenarten der Hartgebilde vererbt werden. Die **Paläohistologie** ist zwar von vielen Forschern empfohlen und gelegentlich bearbeitet worden, aber bei der Frage nach den genetischen Zusammenhängen der verschiedenen fossilen und rezenten Formenkreise nicht so methodisch verwendet worden, wie sie es verdiente.

Wenn man die Arbeiten Wimans über den feinen Bau der Graptolithen oder Bornemanns, Griffith-Taylors und Hindes Abhandlungen über die Archäocyathiden verfolgt, dann sieht man klar, daß es sich um eine völlig isolierte Tiergruppe handelt, die man weder mit Bryozoen noch mit Spongien vergleichen darf.

Eine auf histologischer Grundlage aufgestellte Systematik läßt deutlich erkennen, daß manche, wegen ihrer Ähnlichkeit im heutigen System zusammen behandelte Formen eigentlich schärfer getrennt werden müßten,

So gehören die Spumellarien und Nassellarien als Kieselorganismen eng zusammen, aber die Acantharien und Phaeodarien müssen von ihnen entfernt behandelt werden. Die Kieselschwämme wären von den Kalkschwämmen als nicht homolog, sondern nur analog gebaute Coelenteraten zu trennen, die kalkigen Receptaculitiden verlangen eine Sonderstellung und die Inarticulata gehen seit dem Kambrium als innerlich geschlossene, ganz selbständige Gruppe neben den kalkschaligen Brachiopoden her.

Während die so vielgestaltigen Echinodermen histologisch einheitlich gebaut sind und die Formenfülle der Vertebraten immer wieder ihre Skelette aus Knochengewebe bildete, erscheinen jene Sonderheiten im chemisch-histologischen Aufbau anderer Gruppen besonders auffallend.

Literatur

Beecher, Ch. E., Outline of a Natural Classification of the Trilobites. Am. J. of Science 1897, S. 89, 181 — Fraas, E., Die Meer-Crocodilier der oberen Jura. Palaeontographie IL. — Handlirsch, A., Zur Palaeontologie und Phylogenie der Insekten. Z. f. ind. Abstammungslehre 1907. — Hay, O. P., The fossil Turtles of North America. Carnegie Inst. Publ 1908, Nr. 75. — Jackson, R, Phylogeny of the Echini. Mem. Boston Soc. Nat. Hist. VII, 1912. — Koken, E., Über die Entwicklung der Gastropoden. N. Jahrb. f Min. Beilage Bd. VI, 1889. — Neumayr, Die Stämme des Tierreiches, 1889. — Osborn, H. F., Phylogeny of the Rhinoceroses of Europe. Bull. Americ. Mus. Nat. Hist. XIII, 1900. — Schuchert, Classification of the Brachiopoda. Americ. Geologist 1893, S. 141. — Semper, M., Über Convergenzerscheinungen bei fossilen Brachiopoden. N. J. f. Min. 1899, I, S. 231. — v. Stromer, Über Molukkenkrebse. Z. d. Geol. Ges., Monatsber. 1907, S. 187. — Walcott, J., Cambrian Brachiopoda. Smithsonian Inst. Miscell. Coll. Bd. LIII, 1908. — Wilkens, Stammgarben. Z. f. induct. Abst.-Lehre XX, S. 241.

36. Die paläontologischen Sammlungen

Aus dem Sammeltrieb ist die Paläontologie entstanden und das Sammeln von Fossilien wird stets die notwendige Voraussetzung der wissenschaftlichen Forschung bleiben. Nur mit Hilfe von Sammlungen können wir paläontologisch arbeiten oder paläontologischen Unterricht veranstalten und eine zielbewußt aufgestellte Schausammlung wird Verständnis für unsere Wissenschaft in weite Kreise tragen.

Auch die Probleme der allgemeinen Paläontologie knüpfen sich an das Sammlungsmaterial und können nur an der Hand desselben gelöst oder gelehrt werden. Aber gerade die hier behandelten Fragen fordern für zukünftige Arbeiten eine in mancher Hinsicht anders eingestellte Sammlungstätigkeit und ergeben vielfach auch eine neue Aufstellungsart der Fossilien.

Bisher hat man in der Regel die Fossilien eines kleineren oder größeren Fundgebietes ohne Berücksichtigung des fossilführenden Gesteins ausgebeutet, den Fossilgehalt der miteinander wechselnden Fazies als Lebenseinheit betrachtet und gemeinsam zusammengestellt. Das um-

hüllende Gestein wurde möglichst restlos wegpräpariert, alle zusammenlebenden Arten voneinander isoliert und man war bestrebt, ohne Rücksicht auf Häufigkeit und Erhaltungszustand eine möglichst große Zahl verschiedener Arten zu sondern. So sind paläozoologische oder paläobotanische Sammlungen entstanden, die zwar das Material im ganzen chronologisch ordnen, die aber eigentlich nur die systematische Mannigfaltigkeit der leitenden Arten zum Ausdruck bringen.

Selbst wenn man versucht, das Faunenbild der einzelnen Zonen durch Handstücke des sie umhüllenden Gesteins zu ergänzen, wird die wissenschaftliche Enge einer solchen einseitigen Speziesforschung bestehen bleiben.

Am verhängnisvollsten aber erscheint es mir, wenn auch die Vorräte eines größeren Museums nach den Grundsätzen der paläozoologischen Systematik gesondert und die aus demselben Fundort stammenden Ordnungen, Gattungen und Arten getrennt werden. An einem so unvollkommen gesammelten und so willkürlich zerlegten Material lassen sich die Probleme der allgemeinen Paläontologie weder lösen noch verständlich machen.

Als den Fossilgehalt eines Fundorts im engeren Sinne betrachten wir die von demselben Gestein umschlossenen organischen Reste und Spuren. Neben den chronologisch leitenden Fossilien sind größere Fundstücke zu sammeln, auf denen kleine und große, guterhaltene und zerbrochene, deutliche und halbzerstörte Exemplare der ehemaligen Lebensgenossen zusammenliegen. Die relative Häufigkeit der Arten und Jugendstadien muß durch Stichproben festgestellt werden und alle Eigenschaften derselben, ihre Einbettung und ihre Verteilung innerhalb der Fazies muß beschrieben und möglichst in geeigneten Schauplatten konserviert werden. In einer zoologischen Sammlung mögen alle Arten isoliert sein — eine geologisch-paläontologische Sammlung fordert, daß das Zusammengefundene auch zusammenbleibe.

Daraus ergibt sich, daß auch alle Vorräte einer Privatsammlung wie eines Museums nach faziell gesonderten Fundorten vereint aufgespeichert werden. Aus praktischen Gründen empfiehlt es sich, sie in kleineren Kisten, und zwar in jeder nur eine Gesteinsart des Fundorts, mit ihrem Fossilgehalt aufzuheben. Eine deutliche Nummer an jeder Schmalseite der Kiste läßt mit Hilfe des Katalogs jeden Fund rasch wiederfinden.

Es ist bei einer solchen Art der Aufbewahrung nicht nötig, daß jedes der zusammen verpackten Stücke eine besondere Beischrift (Etikett) habe, solange man die Fundorte in den Kisten streng auseinanderhält.

Der Lokalsammler wird, sofern er in seiner Wohnung oder einem Heimat- und Schulmuseum den dafür nötigen Raum findet, daraus zu-

nächst eine Heimat-Sammlung aufstellen, die am besten nach folgenden Grundsätzen zu ordnen ist:

Nachdem man in der Schichtenfolge der Heimat alle Stufen und Glieder ausgeschieden und alle Hauptgesteine mit ihrem Gesteinsgefolge in gute Handstücke geschlagen hat, unter Berücksichtigung der wichtigsten Einschlüsse (Gesteine, Mineralien und Fossilien), werden diese Stücke in einem flachen verglasten Wandschrank mit durchlaufenden schmalen Leisten, das Liegende unten, das Hangende nach oben so aufgestellt, daß man die Schichtenfolge mit ihren bezeichnendsten Einschlüssen sofort übersehen kann. Die Mächtigkeit jeder einzelnen ausgeschiedenen Stufe wird auf Millimeterpapier durch eine breite schwarze Linie in gleichem Maßstab eingetragen, so daß man das Verhältnis der Schichtenstufen leicht vergleichen kann. Natürliche Profile werden, stark überhöht, in jedem Wandkasten das wirkliche Vorkommen im heimatlichen Gelände zur Darstellung bringen.

Eine solche Heimatsammlung kann selbst für eine nur von Diluvium oder Alluvium bedeckte Gegend aufgestellt werden, denn es kommt dabei weniger darauf an, möglichst viele oder sonderbare Fundstücke, sondern den tatsächlichen, im Aufschluß erkennbaren Aufbau des heimatlichen Bodens zu zeigen. In einem Ort der fränkischen Alb wird also nur Dammerde, Löß, Albüberdeckung und Malmkalk vertreten sein, in einem Teil des norddeutschen Urstromsystems nur die Sande und Kiese des Untergrundes, während die Heimatsammlung von Goslar oder Eisenach größere Anforderungen an die Zeit des Sammlers und die Räume des Museums stellen wird.

In einer Landessammlung steigert sich natürlich die Menge des auszustellenden Materials, aber auch hier wird nach denselben Grundsätzen zu verfahren sein.

Es ist vielleicht der größte Fehler vieler mittlerer Sammlungen, daß sie eine gewisse schulgemäße Vollständigkeit erstreben und, das Schema eines Lehrbuches vor Augen, allerlei Bodenfremdes von Händlern zu kaufen suchen, anstatt die tatsächliche heimatliche Schichtenfolge als gegebene Grundlage ihrer geologisch-paläontologischen Sammlung mit ihrer liegenden, mittleren oder hangenden Lücken zur Aufstellung zu bringen. Nur wenn Schulen und Museen eine Sammlung angelegt haben, bei der jedes Stück dem heimatlichen Boden entnommen wurde, wird die Geologie ein ihrer erziehlichen, wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Bedeutung entsprechendes Ansehen gewinnen.

An diese grundlegende Lokalsammlung schließen sich ganz naturgemäß einige weitere Teilsammlungen an. Denn die fossilen Einschlüsse, die in den einzelnen Stufen gefundenen Mineralien und endlich die aus der Verwitterung und Umlagerung der Felsgesteine

gebildeten oder durch Auflagerung darüber gebreiteten Bodenarten bilden die notwendige Ergänzung der Schichtenfolge der Heimat.

Ganz andere Forderungen muß man an akademische oder öffentliche Lehr- und Schausammlungen stellen, welche die allgemeinen theoretischen Gesichtspunkte der verschiedenen Teilwissenschaften übersichtlich zur Anschauung bringen sollen.

In keinem größeren Museum dürfte eine lithologisch geordnete Gesteinssammlung fehlen. Nicht der chemische Gehalt, nicht die mineralogische Zusammensetzung, sondern die Entstehungsweise muß hier den leitenden Gedanken geben.

Wir beginnen mit den Vorgängen der Verwitterung im nivalen, humiden, ariden und pluvialen Gebiet. Hier ist gleichartige Vollständigkeit schwer zu erreichen, aber jede Gegend bietet im Laufe der Jahreszeiten so mannigfaltige gesteinzerstörende und verfrachtende Vorgänge, daß eine Lehrsammlung solcher Beispiele, durch Bilder und Photographien ergänzt, leicht zu gewinnen ist.

Dann folgen die anorganischen Trümmergesteine (Blocklehm, Buntwacke, Grauwacke, Arkosen, Breschen, Sandsteine, Tongesteine) und ihre organischen Verwandten (Kohle, Kalk, Phosphor- und Kieselgesteine). Es empfiehlt sich, je einen Vertreter aus jeder Formation aufzustellen, also kambrische, silurische usw. Sandsteine bis zu rezentem Fluß-, Meeres- oder Dünensand. Auch in umgekehrter Folge von der Gegenwart bis zu den diagenetisch oder metamorph veränderten Arten ergeben sich lehrreiche Reihen.

Die Niederschläge sind nach aufgelagerten (Kalk-Kieselsinter, Oolith, Salz, Raseneisenstein usw.) und eingelagerten (Mineral- und Erzgänge, Schwülen, Drusen) zu trennen und auch der Einfluß der Eruptose im Kontakthof kann hier berücksichtigt werden.

Es folgen die Magmagesteine, mit dem Glasfluß beginnend und durch halbentglaste Typen bis zu den Tiefgesteinen in ihrem Ganggefolge sowie den Pegnatiten führend. Endlich die vulkanischen Trümmergesteine von der rezenten Asche und den Bomben bis zu Tuff- und Tonstein.

Endlich sind die Vorgänge der Diagenese und Metamorphose, sofern sie nicht bei den einzelnen Gesteinsarten schon aufgestellt wurden, in besonderen Schaukästen zu vereinen. Bruchbildung, Harnische, Gangbildung, Trümmerzonen, sodann Faltung, Schieferung, Mylonite und Vergneisung bilden den vermittelnden Übergang zu den „Urgesteinen" des archäischen Zeitalters.

Die organischen Einschlüsse der Gesteine müssen nach ganz verschiedenen Gesichtspunkten gesondert und angeordnet werden.

Die morphologisch-systematische Sammlung enthält je nach dem verfügbaren Material und Raum die fossilen Gattungen des Tier-

und Pflanzenreiches in möglichst vollständiger Zahl. Eine solche paläontologische Sammlung unterscheidet sich von einer zoologischen Aufstellung nur darin, daß sie naturgemäß die ausgestorbenen Gattungen stärker berücksichtigt — allein im Grunde genommen wird eine scharfe Trennung der rezenten und fossilen Formen kaum möglich sein, und ein Verständnis der letzteren ist nur dann zu erreichen, wenn als Einleitung zu jeder Gruppe eine Anzahl rezenter konservierter Situspräparate gestellt werden. Denn ohne die meist verschwundenen Weichteile sind auch die erhaltungsfähigen Hartgebilde nicht zu verstehen. So wird auch eine paläobotanische Sammlung ohne rezentes Pflanzenmaterial an Blättern, Blüten und Samen nicht lehrhaft sein können. Für die ganz ausgestorbenen Pflanzengruppen empfiehlt es sich, die Morphologie je einer Familie (Sphenophyllum, Archaeocalamites, Calamites, Lepidodendron, Sigillaria und der Farnblattgewächse) von dem Wurzelschopf bis zum Blütenstand und zu den Samen gesondert aufzustellen.

Eine wertvolle Ergänzung der morphologischen ist die phylogenetische Sammlung, welche die Aufeinanderfolge der Gattungen und Familien oder den Stammbaum einer einzelnen Art zum Ausdruck bringt. Nicht alle Fossilien eignen sich für eine solche Sammlung, weil bei vielen die Unvollständigheit der Urkunde allzugroße Lücken und einen zu weiten Spielraum für die plyletische Anordnung bietet. Jedes Jahr kann durch zufällige Funde das gegebene Bild verändern und nur ein ganz großes Museum wird hier vollständige Reihen bringen können.

Aber die lokale Sammlung sollte wenigstens nach zwei Richtungen ausgebaut werden; erstens indem man alle variablen „schlechten“ Arten eines Fundorts in möglichst formenreichen Folgen aufstellt und zweitens indem man die Lücken im lokalen Auftreten einer häufig wiederkehrenden Gattung (z. B. Spirifer im Devon, Myophoria und Terebratula im Muschelkalk oder Arietites im Lias) durch Funde aus entlegeneren Vorkommen ergänzt.

Die chronologische Sammlung setzt die morphologische Systematik voraus und bietet statt der durch mehrere Zeiträume hindurch lebenden Gattungen in erster Linie die stratigraphische Aufeinanderfolge der leitenden Arten. Es wird vielfach, selbst in wissenschaftlichen Büchern, die Ansicht vertreten, daß man die Schichten der Erdrinde mit Hilfe von leitenden Fossilien bestimme, obwohl die Wissenschaft bekanntlich genau den umgekehrten Weg gegangen ist. Denn nur die Überlagerung der fossilführenden Gesteine vom Liegenden zum Hangenden hat die tatsächliche Folge älterer und jüngerer Arten feststellen lassen, und erst nachdem auf Grund der Überlagerung einwandfrei nachgewiesen worden war, welche Arten früher, welche später auftreten, kann man mit Hilfe so bewährter Fossilien eine nicht im geschlossenen Schichtenverband auftretende Gesteinsmasse stratigraphisch bestimmen. Daher ist

sogar eine Sammlung leitender Arten ohne das sie umhüllende Gestein der Stufen unzureichend. Daß man bei einer solchen die heimatliche Schichtenfolge besonders vollständig ausstellt und die von anderen Gebieten stammenden Artenreihen als solche deutlich erkennbar macht, scheint mir aus prinzipiellen Gründen sehr zu empfehlen.

Die zoologische oder botanische Stellung der einzelnen leitenden Formen tritt in einer chronologischen Sammlung völlig zurück.

Ebenso wie eine Tabelle von Geschichtszahlen keine historische Schilderung ist, so müssen wir auch von der stratigraphischen Chronologie der Schichtenfolge eine erdgeschichtliche Sammlung grundsätzlich trennen. Dort werden leitende, aber vielleicht nur ganz vereinzelt gefundene Arten die führende Rolle spielen, hier wird das häufigste Fossil in den Vordergrund rücken. Dort wird eine morphologische Seltenheit, ein bodenfremder Einwanderer die Stellung der ganzen übrigen Fauna bezeichnen, hier erscheint er als zufälliger Fremdling inmitten einer bodenständigen Lebewelt.

Die leitenden Gesichtspunkte, nach denen man eine erdgeschichtliche Sammlung anordnet und durchführt, müssen sich freihalten von dem Schema eines allgemeinen Prinzips. Wer die Floren und Faunen der verschiedenen Formationen in Litoral, Flachsee und Tiefsee einzuzwängen, irgend einen Zyklus der Sedimentation oder die Folgen von Transgressionen und Regressionen darzustellen unternimmt, wird bald die Unmöglichkeit einsehen, solche ebenso einseitigen wie anfechtbaren Hypothesen durch die bunte Mannigfaltigkeit der tatsächlichen Funde zu erläutern.

In einem deutschen Museum kann man nur den Versuch unternehmen, die erdgeschichtliche Entwicklung des Landes darzustellen, und je enger man das Gebiet der Heimat umgrenzt, desto leichter wird es sein, eine wissenschaftlich einwurfsfreie und bleibende Schausammlung zusammenzubringen. Ein Beispiel gibt vielleicht besser als weite theoretische Erörterungen die Grundsätze einer solchen Sammlung wieder: Die Überschriften der Schaukästen einer erdgeschichtlichen Sammlung von Halle würden etwa folgendermaßen lauten: 1. Vulkane der Rotliegenden Zeit. 2. Abtragung und Auflagerung des Oberrotliegenden. 3. Hereintreten des Zechsteinmeeres. 4. Verdampfung des Zechsteinmeeres. 5. Die Buntsandsteinwüste. 6. Das Wellenkalkbecken. 7. Die Braunkohlensümpfe. 8. Die diluviale Schneezeit.

Es wird sich nicht umgehen lassen, daß Originale, d. h. solche Fossilien, die in einer wissenschaftlichen Abhandlung beschrieben und abgebildet wurden, in der einen oder anderen der bisher genannten Sammlungen einen wichtigen Platz füllen. Da solche Stücke öfter zum Vergleich herausgesucht werden müssen, sollen alle Originale einer

Sammlung durch die Farbe des Pappkästchens, des Beischriftpapiers oder wenigstens durch einen auffallend gefärbten Zettel, den man in das Kästchen legt, als solche gekennzeichnet werden. Die Angabe, wo das betreffende Stück zuerst beschrieben, abgebildet oder genannt worden ist, muß dabei angegeben und wenn möglich ein Ausschnitt aus der betreffenden Figurentafel beigelegt werden.

Es empfiehlt sich, kleine Kärtchen mit den Verbreitungsgrenzen häufiger Fossilien oder kleine Schichtenfolgen, in denen ihre vertikale Verteilung angegeben ist, neben dem betreffenden Schaukasten zu befestigen.

Manche größeren Schaustücke, besonders die Skelette von Wirbeltieren, werden oft nicht vollständig geborgen worden sein, so daß einzelne Knochen oder Knochenteile durch künstliche Ergänzungen vervollständigt werden mußten. In solchen Fällen sollen nachgebildete Teile durch eine dem Original ähnliche, aber doch von ihm unterscheidbare Färbung als Ergänzung leicht kenntlich gemacht werden.

Eine Sammlung der allgemeinen Paläontologie sollte nach den bisher behandelten Problemen etwa in folgender Weise gegliedert werden: Der erste Kasten enthält Stücke aus alten Naturalienkabinetten (auch ältere Apotheken besitzen noch gelegentlich Vogelzungen, Bezoarsteine usw.), Pseudofossilien, Naturspiele und allerlei Kuriositäten, gemischt mit prähistorischen Funden, alten Münzen und wirklichen Fossilien — als Beispiel für die Anfänge der Geschichte unserer Wissenschaft.

Eine Sammlung zur Geschichte der Formationsnamen wird den Namen Karbon mit Steinkohle, Grauwacke, Kulmschiefer, rotem Sandstein, weißem Kohlenkalk und Granit erläutern. Zum Muschelkalk gehört ergänzend ein Stück fossilleerer Wellenkalk, ein Stück Letten, Salz und vielleicht ein Stück alpiner Agitporphyr, der Name Kreide wird durch Schreibkreide, Feuerstein, Wälderkohle und Quadersandstein beleuchtet.

Dann folgen: Chemie und Histologie der Hartgebilde, Färbung und Diagenese, Fossilführende Gesteine und gesteinsbildende Fossilien, Faziesfossilien, Leitende Ordnungen, Gattungen und Arten Dauerfossilien, Problematica, Bionomische Sonderung der Lebewelt, Atmung, Ernährung, Wachstum und Form, Fortpflanzung, Einzelwesen und Stockbildung, Ortswechsel und Fährten, Funktionswechsel, Standortsrassen, Todeserscheinungen.

Dazu kämen aus den im folgenden Teil dieses Buches behandelten Abschnitten: Salzgehalt, Lebensgenossen, Faziesbezirke und Lebensbezirke.

Nur wenige größere Sammlungen werden in der Lage sein, aus ihren Vorräten solche hier vorgeschlagene, biologisch geordnete Reihen neu aufzustellen. Viele Museen dürften jedoch die eine oder andere

größere Schauplatte oder Einzelstufen enthalten, die den Grundstock einer solchen Neuaufstellung bilden könnten. Die Mehrzahl der dafür geeigneten Stücke wird man allerdings selbst neu sammeln müssen.

Jedenfalls verlangen die biologischen Probleme der Vorzeit, die in diesem Buche geschildert werden, eine besondere Art der Aufstellung, wie sie weder durch eine morphologisch-systematische paläozoologische oder paläobotanische, noch durch eine stratigraphisch-systematische Leitfossiliensammlung geboten werden kann.

Die für die Anordnung einer paläontologischen Sammlung zu berücksichtigenden Grundsätze sind in manchem „Führer" angedeutet und in E. v. Stromer: Über paläozoische Sammlungen, Monatsber. d. D. geol. Ges. 1919, S. 47, eingehend behandelt worden.

Ich möchte hier nochmals betonen, daß die den einzelnen Abschnitten angefügte Literatur nicht eine Art „Zettelkatalog" der einschlägigen Literatur sein soll, sondern, meist in meiner eigenen Bücherei enthalten, bei der Bearbeitung zu Rate gezogen wurde. Von Einzelverweisen mußte ich absehen, weil ich eine Übersicht der Probleme an der Hand ausgewählter Beispiele, nicht eine Zusammenstellung der darüber geäußerten Ansichten geben wollte. Manche Arbeit, die ich aufzähle, streift nur das Problem, andere aber beschäftigen sich, trotz des anders lautenden Titels, erfolgreich mit der Klärung der betreffenden Frage.

Buchdruckerei des Waisenhauses in Halle a. d. Saale.

III. Teil

Die geologische Umwelt der Fossilien

mit zwei Tafeln und fünf Karten im Text

Inhalt

Verbesserungen:

S. 197 Z. 17 v. o. Si und O vertauschen.
S. 372 Z. 13 v. o. statt Ganoiden lies Chelonier.
S. 421 Z. 1. 2 v. u. Nord und Süd vertauschen.
S. 447 Z. 5 v. u. nahezu einschalten.
S. 460 Z. 3 v. o. statt Abb. 3 lies Abb. 4.
S. 529 Z. 3 v. o. Süd zu streichen.
S. 537 Z. 21 – 23 und bis kreisen zu streichen.

37. Die ontologische Methode

Wenn wir die verschiedenen Zweige der Naturwissenschaft nicht allein nach dem Gegenstand ihrer Arbeit, sondern zugleich nach ihrer Stellung zu den Problemen von Raum und Zeit trennen, so ergeben sich bemerkenswerte Gegensätze.

Physik, Mathematik, Chemie und Mineralogie kleiden ihre Ergebnisse in eine Formel ein, welche *unabhängig von dem Ort der Beobachtung und dem Zeitraum, innerhalb dessen die beobachtete Erscheinung eingetreten ist, allgemeine Gültigkeit besitzt.* Die Fallgesetze und die Geschwindigkeit des Lichtes gelten innerhalb des gesamten Sonnensystems und für alle Perioden der Vergangenheit wie der Zukunft. Die chemische Verwandtschaft hat die O- und Si-Atome im Algonkium zu derselben Verbindung SiO_2 geführt, wie sie heute in unseren Laboratorien entsteht. Ein permischer Orthoklas unterscheidet sich nur in untergeordneten Eigenschaften von einem tertiären Sanidin, und ein isländischer Doppelspat spaltet nach denselben Flächen und Winkeln wie ein Kalzit aus einem devonischen Kugeldiabas; denn das Raumgitter einer kristallisierenden Verbindung folgte in der Vergangenheit wie in der Gegenwart denselben Elementargesetzen und wird noch in fernster Zukunft von denselben Regeln beherrscht werden.

Auch die Fossilien hat man als Teile des „Steinreiches" zunächst ohne Rücksicht auf Raum und Zeit gesammelt und noch heute gibt es in vielen paläontologischen Museen ältere Stücke ohne Fundort und ohne stratigraphische Bestimmung. Solche „Figurensteine" können für die Lösung der Probleme, die wir in diesem Buche behandeln, nicht verwertet werden.

Denn wenn wir den Überrest eines fossilen Lebewesens biologisch-historisch beurteilen wollen, dann müssen wir den Ort kennen, wo die betreffende Art gefunden, also *bodenständig eingebettet* worden ist, und müssen ebenso genau wissen, aus welcher Gesteinsschicht das Fossil geborgen wurde, mit anderen Worten, in welchem *Augenblick der Vorzeit es gelebt hat und gestorben ist,* damit wir es einreihen können in seine Lebensgenossen und seine Lebenszeit. Handelt es sich hierbei um solche Fossilien, die erfahrungsgemäß nur in einer bestimmten Zeitspanne gelebt haben, dann wird der Fundort noch wichtiger. Daher trägt die Beischrift eines jeden gut bestimmten Fossils neben

dem Gattungs- und Ortsnamen die genaue Angabe des Fundortes und der geologischen Zeitepoche, aus welcher der Fund stammt.

Aber Raum und Zeit bestimmen nicht allein den Einzelfund, sondern auch jede übersichtliche Darstellung geologisch-paläontologischer Erscheinungen. Die alten mineralogisch-geognostischen Karten unterschieden die innerhalb eines begrenzten Gebietes auftretenden Gesteine nach ihrem Mineralgehalt und setzten Farbe neben Farbe, ohne sich um die Altersbeziehungen der dargestellten Gesteinsarten zu kümmern. Eine neuzeitliche geologische Karte dagegen ist eine polychrone Darstellungsform. Sie unterscheidet das verschiedene geologische Alter, mit anderen Worten die Bildungszeit der betreffenden Massen durch verschiedene Signaturen; sie verwandelt hierbei das Nebeneinander in ein Nacheinander, und damit die Schichtenfolge in eine Zeitfolge.

Es ist ein Irrtum, wenn man sagt, daß wir das Alter der Gesteine mit Hilfe der eingeschlossenen Fossilien bestimmen — wenn auch die stratigraphische Methodik meist so verfährt. Denn erst nachdem man durch Beobachtung festgestellt hat, daß eine bestimmte Art ausschließlich im liegenden, eine andere im später gebildeten hangenden Gestein gefunden worden ist, kann sie uns als „Leitfossil" dienen. Aus der systematischen Eigenschaft einer unbekannten Art, deren stratigraphische Einordnung in einen bestimmten Horizont man nicht schon kennt, wird man niemals ihr geologisches Alter mit Sicherheit bestimmen können. Die Stratigraphie arbeitet ausschließlich mit solchen rein empirischen Erfahrungssätzen und die von ihr aufgestellten Reihen leitender Arten entsprechen daher keineswegs den inneren Zusammenhängen eines Stammbaums, sondern, wie wir noch begründen werden, den aufeinanderfolgenden Einwanderungen bodenfremder Siedler.

Da die Fossilien nicht mit den zeitlosen Kristallen verglichen werden dürfen, weil jede Art in einem bestimmten Zeitraum gefunden wird, verwandelt sich das paläontologische System in einen zeitlich gegliederten Entwicklungsvorgang. Überall tritt uns das chronologische Moment entgegen; und selbst jede Faltung, jede Verwerfung, jeder Erzgang und jede Porphyrdecke muß in die Reihe der erdgeschichtlichen Ereignisse zeitlich eingeordnet werden, wenn wir alle ihre Eigenschaften bestimmen und erkennen wollen.

Jede Farbe auf einer geologischen Karte kennzeichnet eine bestimmte Zeitspanne, und je mehr Signaturen eine Übersichtskarte enthält, desto größer wird die Zahl der dargestellten geschichtlich verschiedenen Ereignisse. — So wird die Geologie zu einer historischen Wissenschaft.

Aber da wir jede solche Altersbestimmung nur mit Hilfe der Überreste von Organismen vornehmen können, also mit den geformten Sekreten

einst lebender Tiere und Pflanzen, da sich eine Fülle von Fragen über deren Lebensvorgänge, Lebensumstände, Verbreitung und Stammesgeschichte bei Betrachtung von Fundort und zeitlicher Verteilung uns von selbst aufdrängen, wird zugleich die Geologie zu einer biologischen Wissenschaft.

Indem wir hiermit die Geologie aus dem Gebiete der zeitlosen anorganischen Disziplinen herausheben, ergibt sich eine Fülle neuer Aufgaben und wer die Entwicklung unserer Wissenschaft im Laufe der letzten Jahrzehnte überschaut, der erkennt bald überall diesen grundsätzlichen Wechsel in der Problemstellung. Denn auf die morphologische und stratigraphische Systematik ist neuerdings eine Zeit gefolgt, wo die Zusammenhänge erdgeschichtlicher und lebensgeschichtlicher Vorgänge immer größeres Interesse erwecken: Alte Landoberflächen und alte Meeresgrenzen, längst erloschene Vulkane und vertorfte Sumpfwälder, eingetrocknete Salzseen und zur Ruhe gekommene Wüstendünen, verlassene Flußläufe und in Inseln zerlegte Kontinente, eingeebnete Kettengebirge und vom Meere verlassene Festländer werden ebenso zum Gegenstand methodischer Forschung, wie die Umwandlung der Arten und die Wanderungen der aus ihnen zusammengesetzten Faunen.

Jedes geologische Ereignis muß chronologisch nach Anfang und Ende bestimmt werden, und jede Schichtenfolge muß sich auflösen lassen in eine Reihe lithologischer und biologischer Vorgänge.

Aber, wie ist es möglich, die versteinten Wirkungen uralter Bewegungen zu deuten? wie soll man längst zur Ruhe gekommene Vorgänge wieder beleben? wie kann man die Geschichte der Erde und des Lebens erforschen?

Vom Standpunkt einer abiologischen Naturbetrachtung würde man zunächst annehmen dürfen, daß diese historischen Vorgänge durch das Experiment ergründet werden könnten. Aber dem Laboratoriumsversuch haften in unserem Falle zwei prinzipielle Fehler an: denn wir können weder den Raum, noch die Zeit geologischer Vorgänge nachahmen. Indem wir auf diese grundsätzlich wichtigen Dimensionen verzichten, wird die Übertragung kleiner, kurzfristiger Vorgänge auf gewaltige, in ungeheuren Zeiträumen erfolgte Ereignisse so fehlerhaft, daß man auf diese Weise niemals zu gesicherten Ergebnissen gelangt. Wir können im Laboratorium im Kleinen nachahmen, was wir in der Natur im Großen beobachtet haben, wir können Schulversuche anstellen, um einen schon allseitig erforschten Vorgang dem Anfänger eindrucksvoll vor Augen zu führen, aber niemals können wir die riesigen Dimensionen geologischer Vorgänge in sinnreich erdachte Maschinen oder den engen Versuchsraum der Retorte bannen.

Gerade weil man die Unmöglichkeit einer experimentellen Erforschung geologischer Ereignisse so oft erlebt hat, ist die Meinung ent-

standen, daß die Geologie nicht zu den „exakten" Wissenschaften gerechnet werden dürfe.

Und doch gibt es einen völlig sicheren Weg, um auch die schwierigen Probleme zu untersuchen, die uns die Gesteine und die darin eingeschlossenen Fossilien bieten.

Wenn man die Wissenschaft von den Vorgängen der Vorzeit als Paläontologie bezeichnet, so könnte man sinngemäß die Erforschung der heutigen Naturwelt: Ontologie nennen. Die Ontologie als die Wissenschaft vom heutigen natürlichen Zustand der Erde und ihrer Lebewesen zerfällt in eine Reihe ganz verschiedenartiger abiologischer und biologischer Zweige:

Seit alters zerlegt man das biologische Wissensgebiet der postdiluvialen Gegenwart nach dem Gegenstand der Untersuchung in: Botanik, Zoologie und Anthropologie. Es hat lange gedauert, bis man auch die Erforschung der ausgestorbenen antediluvialen Lebewelt als einen Teil der Biologie anerkannte und die Fossilien nicht mehr als tote Steine oder bloße chronologische Denkmünzen betrachtete. Aber heute vertreten alle Biologen die Überzeugung, daß die antediluviale Lebewelt aus den Blutsverwandten und Vorfahren der postdiluvialen Flora und Fauna besteht und daß daher die stratigraphische Grenze zwischen Diluvium und Alluvium die innerlich zusammenhängenden biologischen Wissenschaften nicht trennen dürfe.

Alle Fortschritte der Paläontologie wurden erzielt, indem man die alluviale, d. h. rezente Lebewelt, mit der fossilen verglich; so wurde die fast unübersehbare Fülle der gesicherten paläontologischen Tatsachen auf „ontologischem" Wege gewonnen. In das System der lebenden Tierwelt fügte man die fossilen Funde nach Arten, Gattungen und Familien geordnet ein; nach den Lebensgewohnheiten ähnlich gebauter heutiger Organismen beurteilte man die Lebensweise der Ichthyosaurier und Pterodaktylen und nach den Gesetzen der tiergeographischen Verbreitung rezenter Formenkreise, die Verteilung fossiler Faunen.

Freilich sobald bei einem Wirbeltier fremdartige Organe, wie etwa das Ruderorgan der Panzerfische oder die Zahnspirale von Helicoprion auftreten, die in der heutigen Lebewelt keine Analogie finden lassen, wird die Deutung ihrer Funktion völlig hypothetisch und bei der überwiegenden Zahl der völlig ausgestorbenen niederen Meerestiere läßt sich Lebensweise und Funktion der Organe aus deren Bau nur vermutungsweise beurteilen.

Wie will man aber phyletische Reihen aufstellen und den Funktionswechsel der einzelnen Teile verfolgen, wenn man nicht sicher weiß, unter welchen bionomischen Lebensbedingungen die eine oder andere fossile Form gelebt hat?

Jeder Paläontologe, der sich ernsthaft mit solchen paläobiologischen Fragen beschäftigt hat, wird die Unvollkommenheit vieler Arbeiten auf diesem Gebiete besonders tief gefühlt haben.

Um aus diesem unbefriedigenden Zwiespalt, aus dem fatalen Zirkelschluß, der so vielen paläontologischen Ergebnissen zugrunde liegt, herauszukommen, gibt es nur einen Weg: Wir müssen versuchen, die Frage nach der einstigen Lebensweise und nach der Funktion der Organe eines Fossils auf Grund von solchen Tatsachen zu entscheiden, die unabhängig von seiner Gestalt sind.

Die „ontologischen“ Kenntnisse des Zoologen und Botanikers bieten ihm eine ausreichende Grundlage, um ein Meerestier von einem Flußbewohner, einen wühlenden Wurm von einem fliegenden Insekt, eine Wüstenpflanze von einer tropischen Liane zu unterscheiden. Alle klimatischen, ozeanographischen oder topographischen Faktoren, welche die Lebensweise seiner Organismen und damit die Gestalt ihrer Organe bedingten, mit anderen Worten: die rezente Umwelt derselben kann als bekannt vorausgesetzt werden. Vom Lebensraum der Vorfahren, der Entwicklung der Larven, der Nahrung und Bewegung bis zum Tode und zum Zerfall der Leiche, kann jede Phase des Lebens im Rahmen bedingender äußerer Ursachen untersucht werden.

Auch die Organismen der Vorzeit haben eine Umwelt gehabt, deren Bedingungen ihre Lebensweise und die Form aller ihrer Organe bestimmte, und diese fossile Umwelt muß ebenso sorgfältig untersucht werden, wie die Gestalt der einst darin lebenden Wesen. Jede Art lebte mit Lebensgenossen zusammen, die ihr zur Nahrung oder denen sie als Beute diente; andere Formen füllten die Lücken des gemeinsamen Lebensraumes. Jede fossile Art hat sich aus embryonalen Anlagen entwickelt. Meist mußten die Eltern an Paarungsplätzen zusammenkommen und die jugendlichen meroplanktonischen Schwärme trieben dann wieder gemeinsam nach alten oder neuen Siedelungsplätzen hinaus. Stets mußte dabei die Nahrung vorausziehen, und wenn sie zugrunde ging, dann starben bald auch die letzten Zweige des Stammes aus.

Das alles sind selbstverständliche Voraussetzungen, wenn wir eine fossile Fauna biologisch betrachten wollen, das alles aber muß geprüft werden, wenn wir den Funktionswechsel im Knochenbau eines Sauropterygiers oder die Form der Beine bei einem Eurypterus beurteilen wollen. Kein paläontologischer Stammbaum kann mit sicheren Linien gezeichnet werden, bevor nicht diese Fragen methodisch erforscht worden sind.

So wird die Frage nach der geologischen Umwelt das brennende Problem jeder paläontologischen Arbeit, die sich über eine bloße Beschreibung „fossiler Denkmünzen“ und die willkürliche Aufstellung hypothetischer „Ahnenreihen“ erheben will.

An den Fossilien, die man sorgfältig aus dem umhüllenden Gestein herauspräpariert hat, läßt sich eine solche Untersuchung nicht mehr anstellen. Sie lehren uns nur die Wirkung bionomischer Umstände, nicht deren Ursachen kennen.

Daher sollte der Untertitel des ersten Teiles dieses Buches: „Die Fossilien als Einschlüsse der Gesteine" den sammelnden Paläontologen programmatisch darauf hinweisen, daß alle paläobiologische Arbeit vergeblich ist, wenn man nicht auch die natürliche Umgebung des Fossils prüft. Denn das Gestein, in dem ein Fossil liegt, ist meist der Standort, worauf es lebte, und das Grab, auf dem es starb. Deshalb ist die lithologische Untersuchung des fossilführenden Trümmergesteins eine notwendige Voraussetzung jeder paläontologischen Arbeit.

Im zweiten Teil habe ich versucht, die Gesichtspunkte zu erläutern, nach denen man die Lebenserscheinungen eines längst gestorbenen Wesens beurteilen muß.

In den folgenden Abschnitten wollen wir den Fundort der Fossilien weiter untersuchen, um aus den Lagerungsverhältnissen des umhüllenden Gesteins die äußeren Bedingungen zu enträtseln, unter denen die eingeschlossene fossile Lebewelt vor Zeiten lebte und eingebettet wurde.

Der Gedanke, daß die unbekannten, längst zur Ruhe gekommenen anorganischen und organischen Vorgänge der Vorzeit nach den entsprechenden Erscheinungen der Gegenwart beurteilt werden müssen, ist so alt, wie jedes wissenschaftliche Denken und hat schon die Geister der Renaissance beschäftigt. Aber der erste, der diesen Grundsatz methodisch ausarbeitete und verwertete, war Karl von Hoff, der angeregt durch eine von Blumenbach im Jahre 1818 veranlaßte Preisaufgabe der Göttinger Akademie, von 1822—1841 seine klassische „Geschichte der durch Überlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche" herausgab.

In der Vorrede des seinem großen Lehrer Blumenbach gewidmeten Werkes sagt K. von Hoff: „Es gilt zu untersuchen, ob jene vor den Augen des Menschengeschlechts wirkenden Naturkräfte, und insbesondere die Art, wie sie wirken, nicht schon allein und nur mit Ausdehnung ihrer Wirksamkeit durch große — sehr große Zeiträume hinreichend gewesen sein möchten, die äußeren Formen der Erdoberfläche und einen bedeutenden Teil der die oberste Rinde bildenden Massen so hervorzubringen, wie man sie jetzt findet?"

Bewunderungswert ist es, wie K. von Hoff sogar die Grenzen seiner Methode zu ergründen bestrebt war, wenn er dann fortfährt: „Über einen gewissen Punkt hinaus wird man noch zurzeit damit nicht gelangen, sondern eine Grenze finden, jenseits welcher fast gar keine Anwendung bekannter physikalischer Gesetze und Tatsachen mehr stattfindet, sondern

wo man nur zu Vermutungen und schwankenden Hypothesen seine Zuflucht nehmen muß und das Unzureichende derselben bald einsehen wird. Diese Grenze aber aufzusuchen, das scheint uns das vernunftgemäße Ziel zu sein, welches zu erreichen die Geologen für jetzt streben müssen."

Es war K. von Hoff nicht vergönnt, daß sich die Wirkungen seines Buches an seinen Namen knüpften, denn acht Jahre später veröffentlichte der geistvolle und weitgereiste Engländer Ch. Lyell seine „Principles of geology", die solche Erfolge errangen, daß sich seither die neue Forschungsmethode unter dem Namen „Aktualismus" an seinen Namen knüpfte und alle neuen Forschungswege der Geologie beherrschte.

Freilich ergab sich, daß die aktualistische Methode, schematisch angewandt und oft auf einem allzukleinen rezenten Beobachtungsmaterial begründet, zu folgeschweren Irrlehren führte, so daß die Meinung aufkam, daß man in der Geologie überhaupt nicht methodische und einwurfsfreie Schlüsse ziehen könne.

Daher müssen wir zunächst das Wesen der von uns angewandten Methode prüfen, ehe wir die sich dabei ergebenden Resultate besprechen.

Obwohl eine kritische Erläuterung der aktualistischen Methode kaum versucht worden ist, so darf man doch ihr Wesen nach den Grundsätzen erschließen, die von der Mehrzahl der Paläontologen und Geologen vielfach angewandt wurden und die man etwa so formulieren kann:

„Alle Erscheinungen der Vorzeit lassen sich mit Parallelerscheinungen der Gegenwart vergleichen und erklären".

„Je verbreiteter ein rezenter Vorgang ist, desto wahrscheinlicher ist es, daß er auch in jeder der früheren Erdepochen vorherrschend war".

„Je seltener eine Erscheinung der Gegenwart auftritt, desto weniger kann sie bei der Erklärung vorzeitlicher Vorgänge berücksichtigt werden".

Es mag sein, daß mancher „Aktualist" diese Sätze nicht in ihrem vollen Umfange angewandt hat, aber sie haben doch in vielen paläontologischen Betrachtungen ihre folgerichtige Anwendung gefunden.

Die hiermit gewonnenen Schlüsse standen und stehen jedoch oftmals in einem so unlöslichen Widerspruch mit anderen geologischen Tatsachen, daß wir jene Grundsätze einer eingehenden Revision unterziehen müssen, um die Tragweite der ontologischen Methode, ihre Fehlerquellen und ihre Grenzen klar zu überschauen.

Bevor man eine vorzeitliche Erscheinung mit einem ähnlichen Vorgang der rezenten Gegenwart vergleicht und seine vor unseren Augen sich abspielenden Wirkungen auf fossile Tatsachen überträgt, muß man sich darüber klar geworden sein, daß auch die rezenten Zustände in ihrer Eigenart bedingt sind durch die vorhergegangene Diluvialzeit. Gerade diese Periode ist aber durch so eigenartige klimatische und geologische Erscheinungen ausgezeichnet, daß man die daraus sich ergebenden

lithologischen und biologischen Wirkungen als „postdiluvial" erkennen und nicht ohne weiteres zur Erklärung jurassischer oder karbonischer Tatsachen verwenden darf. Man muß also mit anderen Worten die erdgeschichtliche Eigenart jeder Zeit und jedes Ortes im Auge behalten, muß die korrelativen Beziehungen derselben zu ihrem zeitlich oder räumlich benachbarten Lebensraum zu erkennen suchen und statt eines monodynamischen Schemas die Vielgestaltigkeit des polydynamen Wechselspiels der Naturkräfte wohl berücksichtigen.

Ich habe, um diese Weiterbildung und Vertiefung der aktualistischen Methode deutlich zu machen, vorgeschlagen, diese kritische, vergleichende Arbeitsweise als „ontologische Methode" zu bezeichnen. Ihre schon von K. von Hoff angedeuteten Grenzen, ihre Fehlerquellen und ihre Tragweite müssen wir kennen, wenn wir mit ihrer Hilfe zu gesicherten Ergebnissen kommen wollen.

Der Einwurf, daß die rezenten geologischen und biologischen Vorgänge nicht genügend bekannt seien, kann nur von dem erhoben werden, der den Umfang der ontologischen Tatsachen nicht kennt. Denn jeder Abschnitt geographischer Reisewerke, wie z. B. eines A. v. Humboldt, Ch. Darwin, G. Schweinfurth oder Sven Hedin, lehrt uns eine Fülle von rezentem Vergleichsmaterial für die Beurteilung lithogenetischer Fragen des Festlandes. Die von K. Andrée neuerdings so umsichtig zusammengestellten ozeanographischen Tatsachen lassen uns die Zustände des Meeres verstehen, und die lithogenetischen Vorgänge der abflußlosen Wüsten sind heute ebenso gründlich untersucht, wie die Eruptionsfolge der Vulkane oder die Kalkbildung der Korallenriffe.

Vielleicht am wenigsten wird von den Paläontologen das reiche Tatsachenmaterial der Pflanzen- und Tierphysiologie verwertet und berücksichtigt. Die zusammenfassenden Darstellungen von Jost, Kerner v. Marilaun, Pfeffer, Schimper oder Abderhalden, Biedermann, du Bois Reymond enthalten eine solche Fülle paläobiologisch wichtigen Vergleichsmaterials, daß sie in keiner paläontologischen Bücherei fehlen sollten.

Besser verwertet sind pflanzen- und tiergeographische Arbeiten, doch verdienen die Werke von Chun, Rütimeyer, Schimper, Wallace, Warming-Graebner u. a. noch eingehendere Berücksichtigung.

Ein grundsätzlicher Einwurf gegen die Allgemeingültigkeit der ontologischen Methode mag darin gefunden werden, daß die Gegenwart nicht alle klimatischen, lithologischen und biologischen Vorgänge erkennen läßt, die in früheren Perioden herrschten. Allerdings kann dieses Bedenken grundsätzlich nur für die astrale Vorzeit unseres Planeten gelten, denn seitdem algonkische Geschiebelehme entdeckt worden sind, kennen wir schon aus jenen uralten Zeiten alle tellurischen und solaren Klimabedingungen und stehen auf sicherem Boden, wenn wir die lithologisch erkennbaren Umstände des Lebens früherer Zeiträume ebenso

paläontologisch studieren, wie die rezente Umwelt des Lebens ontologisch untersucht wird.

Viel schwerwiegender ist dagegen der Einwurf, daß die Lebensäußerungen der völlig ausgestorbenen Pflanzen- und Tiergruppen andere chemische Wirkungen gehabt haben, als die Lebensvorgänge der noch heute lebenden Formenkreise. Aber wer die Übereinstimmung der allgemeinen Lebensvorgänge dieser morphologisch so verschiedenen Gruppen berücksichtigt, wird nicht im Zweifel sein können, daß die Assimilation kambrischer Wasserpflanzen und die Nahrungsaufnahme silurischer Muscheln in derselben Weise erfolgt sein muß, wie wir dies in der Gegenwart kennen; selbst daß die Bewohner der Scolithusröhren den kambrischen Meeresgrund ebenso durchwühlten, wie die Anneliden den heutigen Seestrand, bedarf keiner Begründung.

Es gibt aber gewisse, durch ihre Eigenschaften, wie durch die eingeschlossene fossile Lebewelt so einzigartig auftretende „Leitgesteine", daß man auf die Vermutung geführt wird, ihre Eigenschaften seien durch die besonderen Stoffwechselprodukte der auf ihnen einst lebenden Pflanzen oder Tiere bedingt gewesen. Die Graptolithenschiefer und manche andere bituminöse Schichten regen zu solchen Betrachtungen besonders an.

Jede Erklärung natürlicher Vorgänge wird zwar zunächst darauf eingestellt sein müssen, mit dem kleinsten Kräftemaß und der geringsten Zahl von Hilfshypothesen auszukommen. Aber gerade das Studium rezenter Erscheinungen lehrt uns immer wieder, daß eine scheinbar einfache und eindeutige Wirkung oftmals die Resultante verschiedener, sich gegenseitig korrigierender, schwächender oder steigernder Umstände sein kann. Das Schwanken der Gletscherstirn, die Zufüllung einer Sammelmulde, die Entstehung fossilreicher Lesedecken auf Schichtenfugen oder die Höhlenbildung in wachsenden Kalkriffen sind lehrreiche Beispiele für das überall herrschende polydyname Wechselspiel der Naturkräfte. Es wird daher auch unser Bestreben sein müssen, alle begleitenden Umstände einer fossilen Fauna wohl zu unterscheiden und alle ihre verschiedenartigen Ursachen zu prüfen, wenn wir die daraus entstandenen morphologischen Veränderungen einer Lebensfolge verstehen wollen. Ich habe in meiner „Geschichte der Erde und des Lebens" den Versuch gemacht, eine Reihe von auffallenden Ereignissen der Erdgeschichte in diesem polydynamischen Sinne zu betrachten, und es soll eine der wichtigsten Aufgaben auch dieses Buches sein, auf die Wechselwirkungen, die heute zwischen anorganischen und organischen Vorgängen bestehen, in übersichtlicher Weise hinzuweisen.

Aber es ist nicht allein die verwirrende Vielgestaltigkeit der uns umgebenden Natur, die wir überall nebeneinander beobachten, vielmehr wird das Bild noch dadurch komplizierter, daß jeder einzelne Vorgang eine lange Vorgeschichte hat. Je mehr sich die Geologie mit dem Bau

der Erdrinde beschäftigte, desto mehr wuchsen die für deren Erklärung notwendigen Zeiträume. Die Gegenwart ist nur ein Querschnitt durch zahlreiche Kausalreihen, die sich in einer fernen, unerkennbaren Vorzeit verlieren. Schrittweise haben wir gelernt, daß die fossile Lebewelt, die man früher als eine einzige antediluviale der rezenten postdiluvialen Flora und Fauna gegenüberstellte, in zahlreiche antediluviale Faunen und Floren zerlegt werden muß. So ist die Zahl der paläontologischen Horizonte, die man in der stratigraphischen Chronologie unterscheidet, ebenso wie die ungeheure Mächtigkeit der Sedimente der Ausdruck für die unermeßliche Länge geologischer Zeiträume geworden.

Aber während man gelernt hat, daß ein an der Erdoberfläche gefundener Ammonit keineswegs zur rezenten Fauna gehört und ein lockerer Sandstein, der den Gipfel eines Hügels bildet, ein hohes geologisches Alter besitzen kann, werden vielfach andere Oberflächenerscheinungen unbedenklich für rezent gehalten, trotzdem auch sie in vielen Fällen eine uralte Geschichte haben. Ich denke besonders an die Verwitterungsdecken, die meist als Ausdruck einer Verwitterung des heutigen Klimas gelten, selbst wenn wir sie in vollständigeren Profilen im Liegenden eozäner Braunkohlen oder rotliegender Porphyrdecken beobachten.

Zu den Fehlerquellen, welche in einer monodynamischen und zeitlosen Betrachtung geologischer Tatsachen liegen, kommt aber noch ein allgemein verbreiteter Grundsatz, der bei seiner ersten Aufstellung ungemein fördernd wirkte, allmählich aber zu verhängnisvollen Fehlschlüssen geführt hat.

Als Karl v. Hoff und Charles Lyell den Gedanken prägten, daß man bei geologischen Erklärungen mit den anzunehmenden Kräften sparsam sein müsse, mit den Zeiträumen aber verschwenderisch umgehen dürfe, und damit den Grundgedanken des Aktualismus begründeten, stellten sie zum erstenmal die erklärende Geologie auf feste Füße, und die wichtigsten Fortschritte auf dem Gebiet der Erdgeschichte verdanken wir der folgerichtigen Anwendung dieser Methode.

Das alte Beispiel vom „stetig fallenden Wassertropfen" wurde zum Paradigma jeder Erklärung, aber indem die geologischen Zeiträume beständig wuchsen, ging jeder Maßstab für die Beurteilung ihrer Dauer verloren. Der von Darwin vertretene biologische Gedanke, daß die Arten nur durch die Summierung kleinster Varianten entstanden seien, kräftigte auf geologischem Gebiete den Parallelgedanken, daß auch die größten Gesteinsmächtigkeiten nach demselben Maßstabe minimaler Schichtenbildung beurteilt werden müssen und können, und so hat die Einseitigkeit der aktualistischen Methode zu einem irrigen geologischen Zeitbild geführt.

Denn bei einer vorurteilsfreien Betrachtung der sich überlagernden Gesteine und der darin eingeschlossenen Fossilien sehen wir im all-

gemeinen einen wiederholten Wechsel von langen Zeiten geringer Veränderung und kurzen Episoden lebhafter Umgestaltung. Solche „heroische Zeiten“ oder Anastrophen, welche die gleichartige Eintönigkeit langer Ruheperioden unterbrechen, stimmen vielfach überein mit den Formationsgrenzen, die eine rein empirische Stratigraphie festgelegt hat und die trotz aller Versuche nicht überall durch vermittelnde Glieder überbrückt werden konnten.

Bei der Verwendung von Hilfshypothesen zur Erklärung einer paläontologischen Erscheinung muß man besonders darauf achten, daß jede derselben in korrelativer Wechselbeziehung zur Haupthypothese steht. Die innerhalb eines Faziesbezirks herrschenden anorganischen Kräfte dürfen nur ergänzt werden durch die in seinem Nachbargebiet auftretenden klimatischen Bedingungen. Man darf also nicht zur Erklärung der Steinkohlen ein immerwarmes Tropenklima voraussetzen und dann unsere im humid-nivalen Wechselklima entstehenden Torfmoore damit verknüpfen. Andererseits kann die Annahme eines Wüstenklimas für die Bildung des Buntsandsteins nicht etwa durch den Hinweis auf die Spuren von fließendem (Geröll) und stehendem (geschichtete Letten) Wasser entkräftet werden, denn auch in den heutigen Wüsten verdampfen gewaltige Flüsse von 2000 km Länge.

Dasselbe gilt für die innerhalb eines Lebensbezirkes auftretenden Lebensgenossen. Ein luftatmendes Tier oder eine an das Leben in der trockenen Atmosphäre angepaßte Pflanze kann zwar gelegentlich in marinen Ablagerungen „eingeschwemmt“ gefunden werden, aber das häufigere Auftreten solcher Reste in geschichteten Gesteinen muß zunächst als bodenständig betrachtet werden, und wenn sich hierbei vielleicht ergibt, daß Eurypterus und Palaeophonus Lebensgenossen waren, so ist diese Feststellung von hoher phyletischer, biologischer und erdgeschichtlicher Bedeutung.

Daß an einem permischen Vulkan Cordaites- und Walchiabestände auf höheren Abhängen, aber Annularien, Calamiten und Wasserfarne in den Niederungen gewachsen sind und ihre Reste hier vermischt mit Süßwasserfischen auftreten, wird niemand Wunder nehmen: wenn man aber ein problematisches Relief auf roten Letten der Goldlauterer Schichten von Kabarz als Medusites beschreibt, so führt man ein marines Faunenelement zwischen diese Lebensgenossen ein, dessen Auftreten inmitten festländischer und limnischer Reste unwahrscheinlich ist.

Erst wenn jede Möglichkeit, mit solchen aus der Gegenwart entnommenen einfacheren Annahmen auszukommen, erwogen und ausgeschlossen ist, darf man Hilfshypothesen ersinnen, die mit rezenten korrelativen Erscheinungen nicht begründet werden können.

Das Prinzip der größten Sparsamkeit muß auch bei Annahmen über zeitliche Vorgänge und räumliche Entfernungen fest-

gehalten werden. Solange die Möglichkeit besteht, ein bodenfremdes erratisches Gestein oder ein benthonisches Fossil von einem näheren Fundort abzuleiten, dürfen entferntere Gebiete nicht berücksichtigt werden, und wenn man die Eigenschaften eines interglazialen Sandkegels als Wirkung weniger Jahrzehnte verständlich machen kann, liegt kein Grund vor, denselben als das Zeugnis für eine Interglazialzeit von vielen zehntausend Jahren zu betrachten.

Nur beim Vergleich von gleichzeitig entstandenen aufgelagerten klastischen Schichtenfolgen muß man, wie wir Seite 31 betonten, die größte bekannte Mächtigkeit derselben als Zeitmaß voranstellen, wenn man allgemein gültige Zahlenverhältnisse gewinnen will.

Wer bei allen paläontologischen Betrachtungen und Schlüssen die ontologischen Tatsachen der Gegenwart nach Raum, Zeit, Kräftemaß und Kräftekorrelation wohl berücksichtigt, dürfte nur selten in die Lage kommen, fremdartige katastrophale Ursachen und ontologisch unbekannte Annahmen einzuführen.

Sehr wichtig ist es, daß erfahrungsgemäß neben immer wiederkehrenden „Dauererscheinungen“ ganz einzigartige, nur einmal auftretende Leiterscheinungen auf geologischem wie auf biologischem Gebiete stattgefunden haben. Die Besiedelung des Festlandes von einer vorher im Wasser lebenden Flora und Fauna war wohl das wichtigste Ereignis der ganzen Erdgeschichte. Alle Vorgänge der Verwitterung, Abtragung und Neubildung von Gesteinen, alle biologischen Phänomene, wie die Atmung, Nahrungsaufnahme, Bewegung, Fortpflanzung und Verbreitung der Pflanzen und Tiere wurden damit in ganz neue Bahnen gedrängt. Kein Wunder, daß in der Karbonzeit soviele Ereignisse geschahen, deren Wirkung sich erst in der Folgezeit vollkommen auslebte.

So mußte auch jede große Schneezeit eine grundsätzliche Umgestaltung aller anorganischen und organischen Vorgänge anbahnen oder veranlassen, und wenn die karbonische Faltungszeit das Schicksal der paläozoischen Landwelt tiefgreifend bestimmte, so mußte die tertiäre Gebirgsbildung ebenso die jüngere Lebewelt aller Festländer verändern.

Auch hier wird die lithologische Eigenart leitender Gesteine und ihre Mächtigkeit sowie deren geographische Verbreitung viele wichtige Fingerzeige geben.

Im Laufe dieses Buches werden wir so oft Gelegenheit nehmen, auf Fehler hinzuweisen, die durch eine unkritische Handhabung der aktualistischen Methode hervorgerufen wurden, daß wir uns mit diesen wenigen Hinweisen hier begnügen können.

Wir gehen von der Erfahrung aus, daß zwar jede natürliche rezente Erscheinung ihre adäquate Ursache habe, suchen aber, unserem polydynamischen Standpunkt entsprechend, jede Wirkung in ihre einzelnen Elemente zu zerlegen und neben der vorwiegenden

Hauptursache auch deren begleitende Umstände, neben der zuletzt wirkenden Kraft auch die früher tätigen Kräftequellen zu erkennen.

Daraus ergibt sich von selbst die Auffassung, daß jeder große geologische Zeitraum seine historische Eigenart besessen hat, die weder vorher noch später in gleicher Kombination der einzelnen Teilerscheinungen aufgetreten ist. Wir können das karbonische Zeitalter nicht verstehen ohne gründliches Studium des vorhergegangenen Devon und die individuelle Eigenart der alluvialen Gegenwart wird durch die Zustände des vorhergehenden Diluvium bedingt. Die Eigenschaften jeder einzelnen, eine andere Gesteinsart überlagernden Schicht sind zum Teil durch die gesteinsbildenden Vorgänge bedingt, welche ihr Liegendes erzeugten, genau ebenso, wie neue Arten nicht geschaffen wurden, sondern viele Erbstücke von älteren Arten übernahmen.

Das gilt im morphologischen, wie im biologisch-physiologischen Sinne und drängt uns zu der Überzeugung, daß die Gegenwart nicht ohne weiteres die Schulmeisterin der Vergangenheit sein kann. Wenn heute weite Flächen der Tiefsee mit Radiolarienschlamm bedeckt sind, so darf man daraus nicht schließen, daß es schon in der Altzeit ähnliche Tiefengebiete gegeben haben müsse und daß ein karbonisches radiolarienreiches Gestein als Tiefseebildung betrachtet werden müsse, besonders wenn es mit pflanzenreichen Süßwasserschichten wechsellagert; und wenn man aus der weißen Schreibkreide zahlreiche bodenbewohnende Textularien herauslesen kann, so darf man sie nicht mit dem Globigerinen-Schlamm der rezenten Tiefsee vergleichen, besonders wenn zwischen jenen dickschalige Gryphäen als Lebensgenossen eingestreut sind.

Die ontologische Methode, wie wir sie umgrenzen, geht also von der rezenten Gegenwart aus, allein sie wendet auf die Rätsel der Vergangenheit vornehmlich solche Erscheinungen an, die durch ihre Ursachen und ihre Begleitumstände als wesentlich und immer wiederkehrend typisch angesehen werden dürfen.

Die heutige Umwelt der rezenten Organismen scheint dem Beobachter ebenso unveränderlich zu sein, wie die darin lebenden und von ihr bedingten Arten, und wenn in einem trockenen Sommer asiatische Steppenhühner bei uns erscheinen, oder die Fischer im Golfe zu Neapel eine früher dort nicht bekannte Muschel finden, so glauben viele, daß es sich dabei um eine ebenso zufällige Ausnahme handle, als wenn in einem Florengebiet eine neue Varietät auftritt. Aber dem geologisch denkenden Paläontologen erscheinen solche vereinzelte Ausnahmen in einem anderen Licht. Er ist gewohnt, in einer aus wechselnden Gesteinen aufgebauten Schichtenreihe eine kürzere oder längere Zeitfolge zu erblicken; er sieht in seinen Profilen übereinander meist mit raschem Wechsel neue Fazies, neue Florenelemente, neue Tierarten erscheinen. Bisweilen be-

haupten die Fossilien ihren Standort, trotzdem der schlammige Tonboden im Hangenden zu einem Sandstein wird, während in anderen Aufschlüssen in den verschiedenen Horizonten eines unverändert wachsenden Kalkriffs immer neue Faunen auftreten.

In zahlreichen Fällen aber wechselt der Fossilgehalt zugleich mit dem umhüllenden Gestein. Die Lebensgenossen tauschen ihre Plätze, sporadische Einwanderer erscheinen und absterbende Zweige vorher blühender Geschlechter verschwinden aus dem Hangenden. So verwandelt sich das Übereinander in ein Nacheinander und durch die Schichtenfolgen knüpfen sich fortlaufende biologische Kausalreihen.

Da die geologische Karte ein so ausgezeichnetes Hilfsmittel bietet, um die Aufeinanderfolge der Gesteine und den chronologischen Aufbau einer Gegend zum Ausdruck zu bringen, lag es nahe, auch die Zustände bestimmter geologischer Perioden durch eine kartographische Darstellung ihrer wichtigsten geographischen und biologischen Erscheinungen zu erläutern. So hat sich neuerdings ein besonderer Zweig der Geologie als „Paläogeographie" entwickelt, dem viele Arbeiten gewidmet sind.

Es hat viel Verlockendes, die Farbensignaturen einer polychronen Übersichtskarte bis auf einen bestimmten Horizont abzudecken und auf diesem Wege eine monochrone Karte zu gewinnen, auf der mit scharfer Linie die „Meere" und „Kontinente" der betreffenden Periode abgegrenzt erscheinen — und so sind besonders von französischen und amerikanischen Paläontologen ganze Reihen solcher Kärtchen veröffentlicht worden. Da auf ihnen durch die Projektion Merkators jeder Polarkreis die Länge des Äquators erhält, da die unerforschten Tiefen der Weltmeere mit ebensolcher Sicherheit behandelt werden, wie die geologisch unbekannten Gebiete Innerafrikas, da man sogar die hypothetischen Transgressionen uralter Meere, deren Grenzen noch niemand feststellen konnte, in diese Kärtchen einzutragen unternahm —, bleiben die meisten dieser Darstellungen völlig unbewiesene Phantasiegebilde und gleichen den wechselnden Umrissen einer Gewitterwolke, die unbeständig und gestaltlos dahinzieht.

Nur wenige Forscher sind auch auf diesem Gebiet den Weg sorgfältiger Einzelarbeit gegangen, der allein zu sicheren Ergebnissen führen kann. E. Dacqué hat in seinem trefflichen Buch über die „Grundlagen der Paläogeographie" viele wertvolle Fingerzeige gegeben, wie man bei der Zeichnung solcher Karten verfahren müsse, und wir werden in den folgenden Abschnitten vielfach Gelegenheit haben, die damit zusammenhängenden Fragen zu erörtern.

Die Umwelt einer fossilen Lebensgenossenschaft ist nicht damit erschöpft, daß man alle Flächen, auf denen eine gleichalterige Fauna kiemenatmender Tiere gefunden wurde, als „Meeresgrund" behandelt und sie mit einer mehr oder weniger hypothetischen Uferlinie umgrenzt,

und das Klima eines daraus aufragenden Kontinents läßt sich nicht nach den Wassertieren beurteilen, die an seinen Küsten leben oder deren leere Schalen durch Strömungen an ein fernes Ufer getrieben wurden. In sorgfältiger Mosaikarbeit muß ebenso der Land- wie der Meeresboden geprüft werden, wenn wir zu gesicherten Ergebnissen gelangen wollen. Fern sind wir vom Ziel und doch lohnt es dahin zu streben. Denn die letzten Probleme des Lebens hängen damit zusammen, daß wir jede fossile Flora und Fauna auf dem Hintergrund der Zustände beurteilen, die wir als ihre geologische Umwelt bezeichnen.

Die rezente Umwelt, der Standort einer lebenden Pflanze oder die Lebensbedingungen eines rezenten Tieres setzen sich aus ganz verschiedenartigen Elementen zusammen. Die topographische Geländegestalt und die Tiefe des Meeres, das Klima des Landes und der Salzgehalt des Wassers, die Nahrung und das Licht, die Lebensgenossen und die Feinde bedingen sowohl die Art der Siedelung wie die Körpergestalt der Art.

Auch die Umwelt eines fossilen Lebewesens, einer Flora oder einer vielartigen Fauna läßt sich von den verschiedensten Gesichtspunkten betrachten und in ihre Teile zerlegen. Wollten wir dieselben als einzelne Wissenschaften unterscheiden, und vielfache Versuche dieser Art liegen vor, so würde man eine Paläo-geographie, -topographie, -ozeanographie, -klimatologie, -halologie usw. trennen können. Um einen allgemeinen Ausdruck zu wählen, der schon durch seine Fassung anzeigt, daß er sich weitere Ziele steckt, als man mit dem Namen Paläogeographie bisher bezeichnet, und doch eine rein darstellende, beschreibende Arbeitsweise erstrebt, nenne ich alle diese Untersuchungen Paläographie. Ich verstehe also unter einer paläographischen Karte eine solche, die die fossile Umwelt eines kleineren oder größeren Gebiets nicht aus der dort gefundenen Lebewelt ableitet, sondern, unabhängig vom Fossilgehalt, aus den lithologischen Eigenschaften des umhüllenden Gesteins und seinen Lagerungsformen methodisch erschließt, indem sie dieselben nach den Grundsätzen der ontologischen Methode aus den entsprechenden Erscheinungen der Gegenwart ergründet. Hierbei wird es immer unser Ziel bleiben, auf die bionomischen Zusammenhänge verschiedener Umstände hinzuweisen und statt der einseitigen monodynamischen Erklärung auf das polydyname Wechselspiel der Naturkräfte aufmerksam zu machen.

Wenn wir alle diese Ziele im Auge behalten, werden wir immer wieder dahin gedrängt, daß eine fossile Lebewelt, mögen wir sie vergleichend anatomisch oder phyletisch verstehen wollen, niemals von ihrem Muttergestein isoliert werden darf.

Alle Schlüsse, die ohne Berücksichtigung dieser Umstände gezogen werden, bewegen sich in einem scheinbar reibungslosen, aber im Grunde

ziellosen Kreislauf, vertauschen Ursachen mit Wirkungen, wiederholen den Nachsatz im Vordersatz und reihen eine hypothetische Annahme an die andere, ohne sich das Nutzlose eines solchen Gedankenspiels klarzumachen.

Wenn die ontologische Methode noch nicht bei der Erforschung aller Fragen der allgemeinen Paläontologie die ihr gebührende Rolle spielt, so liegt das zum Teil an der Vielseitigkeit und dem Umfange der ontologischen Disziplinen, deren gründliche Kenntnis eine notwendige Voraussetzung jeder solchen Anwendung ist.

Die abiologische Auffassung der paläontologischen Tatsachen hat auch bedingt, daß diese Disziplinen bei der Ausbildung der angehenden Geologen vielfach noch übersehen werden. Eine Gegenüberstellung der ontologischen Hilfswissenschaften und der auf ihnen aufbauenden Teilgebiete der allgemeinen Paläontologie wird ihre Bedeutung leicht überschauen lassen:

Allgemeine Ontologie behandelt die geologisch wichtigen Erscheinungen der Gegenwart, als:	Allgemeine Paläontologie behandelt die erdgeschichtlich wichtigen Erscheinungen der Vorzeit, als:
Klimatologie,	Paläoklimatologie,
Geographie,	Paläogeographie,
Lithogenesis,	Gesteinslehre,
Bionomie,	Paläobiologie,
Botanik,	Paläobotanik,
Zoologie,	Paläozoologie,
Ontogenie.	Phylogenie.

Literatur

Hoff, K. von, Geschichte der durch Überlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche. 1822—1841. — Lyell, Ch., Principles of Geology. 1835. — Walther, J., Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. Jena 1893/94. — Geschichte der Erde und des Lebens. Leipzig 1908.

38. Das Medium des Lebensraumes

Die Frage nach dem Aggregatzustand des Mediums, in dem oder auf dessen Grenzfläche sich das Leben eines Fossils abgespielt hat, mit anderen Worten: ob ein Stück Erdrinde einmal Festland oder Meeresgrund war, wurde früher auf einem ebenso bequemen wie fehlerhaften Wege entschieden. Seit A. G. Werner hielt man jedes geschichtete Gestein für „marin“, jedes aus kristallinen Schiefern aufgebaute Gebiet für „archäisch“, und obwohl sich jeder leicht überzeugen konnte, daß inmitten vieler Festländer mächtige geschichtete Ablagerungen gebildet werden, obwohl wir heute das geologische Alter der kristallinen Schiefer in ganz verschiedene Perioden einzuordnen vermögen, werden noch immer paläogeographische Karten gezeichnet, auf denen z. B. Afrika und

Brasilien nur deshalb als uralte Festländer eingetragen sind, weil in ihnen der „Gneis“ weitverbreitet ist, während mächtige Quarzite, Grauwacken und Sandsteine nur deshalb als Meeresflächen eingetragen werden, weil sie „geschichtet“ sind. So sind phantasievolle Karten der ganzen Welt oder einzelner Kontinente entstanden, deren innere Unrichtigkeit jedem kritisch Denkenden klar sein müßte.

Die Frage nach dem Aggregatzustand des Lebensraumes läßt sich nach den Grundsätzen der ontologischen Methode sowohl biologisch wie lithologisch untersuchen; und wenn es auch in der Regel nicht schwer ist, zu entscheiden, ob ein Lebewesen im Wasser oder auf dem Lande, im Schlamm oder im Lockerboden freibeweglich oder festgewachsen war, so gibt es doch viele Fälle, wo nur eingehende Prüfung zu sicheren Ergebnissen führt.

Solange man jedes geschichtete Gestein für eine Meeresbildung und jedes darin eingeschlossene Fossil für marin halten konnte, war es leicht, die paläographischen Zustände einer bestimmten Periode dadurch darzustellen, daß man eine polychrone geologische Karte bis zu den fossilführenden Gesteinen des betreffenden Zeitabschnitts abdeckte und die Denudationsgrenze dieser monochronen Ablagerungen als „Meeresgrenze“ einzeichnete. So entstanden Karten, die äußerlich den Anschein der Sicherheit erweckten, während sie doch nur ein hypothetisches Schema ohne innere Wahrheit und ohne inneres Leben waren. Sie wurden auch keineswegs dadurch wahrscheinlicher, daß man alle Flachseeerscheinungen als „Strandbildungen“ zusammenfaßte, jedes abgerollte Fossil als „eingeschwemmt“ und jeden Rest einer festländischen Pflanze als „Drift“ behandelte. Man begegnet in der Literatur vielen Beispielen solcher mangelhaften Beweisführung:

„Die rezenten Haie leben im Meer; Acanthodes gehört zu den Haifischen, folglich war er ein Meeresbewohner“ oder „am Meeresgrund entstehen geschichtete Gesteine, die schwarzen Letten des Thüringer Rotliegenden sind geschichtet, also ist das Rotliegende eine Meeresbildung, und da Acanthodes darin gefunden wird, ergibt sich, daß auch alle fossilen Haie marine Tiere waren“; und „da mit A. zusammen Landpflanzen gefunden werden, sind die betreffenden Gesteine eine Strandbildung, in welche die Reste festländischer Pflanzen eingeschwemmt worden sind.“

Oder: „Rezente Tiefseekrebse haben bisweilen verkümmerte Augen; einige schlammbewohnende Trilobiten im böhmischen Mittelkambrium sind blind, also ist »das Kambrium« eine Tiefseebildung.“

Oder: „Am Boden der heutigen Tiefsee sind weite Flächen fast nur mit Radiolariengehäusen bedeckt (weil kein toniges Sediment bis zur Mitte der abyssalen Becken gelangt); in silurischen und karbonischen Schiefern sind zahlreiche Radiolarien zwischen den klastischen Trümmern des Sediments eingestreut — folglich sind diese Gesteine Tiefseebildungen.“

Man könnte diese Beispiele aus der geologisch-paläontologischen Literatur vielfältig vermehren, um zu belegen, zu welchen irrtümlichen Schlußfolgerungen man gelangt, wenn man rezente Erscheinungen ohne Kritik auf fossile Tatsachen überträgt.

Wenn man bedenkt, daß zahlreiche Lebewesen der Vorzeit bei den vielen Transgressionen und Regressionen fossiler Meere ihr Lebenselement vertauscht haben, vom Meere ins Süßwasser und endlich aufs trockene Land gewandert sind und daß sich gerade die tiefgreifendsten Veränderungen in der Organisation der Tiere nur durch diesen Wechsel des Mediums verständlich machen lassen, wird es von höchster Bedeutung sein, gerade die Grenzfälle solcher Veränderungen sorgfältig zu untersuchen und festzustellen, wann die Stegocephalen von dem Meere ins Süßwasser, wann die Ichthyosaurier oder die Ganoiden oder Wale vom Lande ins Wasser eingewandert sind. Die Organisation der Urfische und Urvierfüßler, die Entstehung des Insekten- oder Vogelflügels regt zahlreiche ähnliche Fragen an, die nur auf ontologischem Wege beantwortet werden können, wenn man für jede Gesteinsschicht und ihren Fossilgehalt entschieden hat, ob sie unter oder über einem dauernden Wasserspiegel entstanden ist.

Solange man solche Folgerungen auf Grund einer schematischen Formel zieht, solange man in beständigen Zirkelschlüssen eins durch das andere zu erklären sucht und das Erklärte wieder als Beweis benutzt, muß jede paläographische Darstellung voll Irrtümer bleiben.

Wir können solche nur ausschalten, wenn wir mehrere in sich einwurfsfreie Kausalreihen zur Deckung bringen. Nur in ihrer natürlichen Umwelt leben und verändern sich die Organismen, und wenn diese uns in der Vorzeit als Fossilien entgegentreten, so wurden uns jene in den sie umhüllenden Gesteinen aufbewahrt. Auf dem Hintergrund lithologischer Erscheinungen allein können wir ein naturwahres Bild vom Leben der Vorzeit zeichnen.

Die Umwelt setzt sich aus so verschiedenartigen Elementen zusammen, daß jedes derselben eine besondere Prüfung beansprucht.

Leicht ist es, die Vertreter der Luftwelt an ihrem Flugorgan zu erkennen, und da das Luftmeer erst im Karbon besiedelt worden zu sein scheint, ist es unwahrscheinlich, daß ältere Fossilien schon das Luftmeer belebten, doch bedarf die Frage wegen ihrer großen Wichtigkeit weiterer Prüfung.

Man teilt die Landwelt in die beweglichen Tiere sowie die fest gewachsenen Pflanzen ein und beide Typen sind als solche selbst in fossilen Bruchstücken leicht wieder zu erkennen — allein auch hier sind in älteren Übergangszeiten Fehler und Täuschungen möglich.

Wir haben schon in früheren Abschnitten an die Karbonflora erinnert, deren Gewebe und Aufbau, trotzdem ihre heutigen Verwandten

auf dem trockenen Lockerboden des Festlandes leben, für ein Wachstum am Boden schlammiger Wasserbecken sprechen. Die Einbettung vereinzelter Sphenophyllen im Schieferton, die rhythmisch angelegten Wurzelkränze der Calamiten, die mit Ranken besetzten Stigmarien, die Psaronien usw. zeigen so deutliche Anpassungserscheinungen an einen durch beständige Auflagerung wachsenden, beweglichen Untergrund, daß man auch den Mangel eines rhythmischen Holzwachstums als Zeichen des Wasserlebens betrachten darf, weil unter Wasser alle Bedingungen fortfallen, die im Wechsel der Jahreszeiten eine Änderung des Gewebewachstums veranlassen können.

Wenn wir die genannten Gruppen als Wasserpflanzen auffassen, dann ist es aber auch sehr wahrscheinlich, daß die meisten mit ihm zusammenlebenden Farnblattgewächse zur Wasserwelt gehörten, die zunächst auch unter dem Wasserspiegel ihre Samen verbreiteten, bis sie die günstigen Verbreitungsmöglichkeiten der Atmosphäre über den Wasserspiegel drängten und schrittweise zu anemophilen Landpflanzen umgestalteten.

Auf chemischem oder histologischem Wege läßt sich diese Frage nicht lösen. Denn auch das Lignin-liefernde Holzgewebe muß zuerst bei Wasserpflanzen aufgetreten sein, damit diese befähigt wurden, auch oberhalb des Wasserspiegels durch ihre elastischen Zellverbände den mechanischen Angriffen des Windes zu genügen.

Für die ältesten Insekten ist die Frage noch zu prüfen, inwieweit sie den Weg aus dem Wasser in die Luft mit oder ohne die Flora unternahmen. Das Studium insektenreicher Schiefertone müßte Reste oder Bewegungsspuren der wasserlebenden Urinsekten erkennen lassen. Für die Stegocephalen und Dipnoi geben ihre heute lebenden Verwandten genügende Aufklärung uralter Umwandlungsvorgänge, ebenso wie es leicht ist, aus dem Körperumriß und den Extremitäten eines nachträglich ins Wasser gegangenen Reptils oder Säugers den Zeitpunkt der Einwanderung und dessen Umstände zu untersuchen. Doch müßten auch diese vergleichend anatomischen Betrachtungen an Sicherheit gewinnen, wenn man die lithologische Umgebung solcher Funde sorgfältig prüfen wollte.

Die Hartgebilde der rezenten Wasserwelt zeigen so viele und bezeichnende morphologische Eigenheiten, die aus der Kiemenatmung entstanden, daß auch für die meisten sogenannten niederen Tiere der Vorwelt die Zugehörigkeit zum flüssigen Element klar zutage liegt. Spongien, Anthozoen, Echinodermen, Mollusken, Brachiopoden und Krebse sind so leicht als Wassertiere zu erkennen, daß man nur den einen, allerdings oft gezogenen Schluß auf einen „marinen“ Lebensraum beanstanden muß. Denn von fast jeder dieser Gruppe leben heute auch einzelne Vertreter im Süßwasser, ohne daß damit eine grundsätzliche Änderung

ihrer Hartgebilde verknüpft wäre, und manche sind so euryhalin, daß sie in regelmäßigem Wechsel vom Meere, sogar aus der Tiefsee (wie die Aale) bis in die letzten küstenfernen Verzweigungen der Flußsysteme hinaufsteigen. Es muß daher in jedem Falle noch untersucht werden, ob ein Wassertier im Salz- oder Süßwasser gelebt hat. In einem folgenden Abschnitte werden solche Fragen eingehend geprüft.

Die äußere Gestalt der meisten Wassertiere läßt auch leicht entscheiden, ob sie zum Nekton, Plankton oder Benthos gehört haben; nur müssen wir uns hüten, aus dem einen Faunenelement auf die Lebensweise seiner Fundgenossen zu schließen. Denn jede fossile Fauna ist zunächst ein Leichenfeld, und wie an einem festländischen Fundort ein toter Maulwurf neben einem Hasen und einem Möwen- oder Krähenskelett eingebettet werden kann, die eine grundverschiedene Lebensweise hatten, so sammeln sich auch am Boden des Meeres mit den festgewachsenen, wühlenden, kriechenden und kletternden Tieren die schwebenden, schwimmenden und treibenden Bewohner der darüber stehenden Wassermasse, und sogar am Boden einer lebensfeindlichen Halistase kann sich ein reicher Fundort fossiler Reste ansammeln.

Daher muß es stets die erste Frage sein, ob ein gegebenes Fossil oder eine ganze Fauna an der betreffenden Stelle bodenständig gelebt hat oder bodenfremde Elemente enthält. Oft werden wir aus dem Erhaltungszustand der Reste die Länge des Transportweges erschließen können, allein wir müssen bedenken, daß solche Reste nur dann Abnutzungsspuren zeigen können, wenn die Hartgebilde ohne die umhüllenden Weichteile verfrachtet wurden. Eine im Wasser treibende Leiche kann weit transportiert sein, ohne daß die Knochen selbst abgerollt erscheinen, und im weiten Weltmeer können vereinzelte, schön verzierte leere Schalen von Ammoniten Hunderte von Meilen dahintreiben, ohne daß sie sich gegenseitig abnützen.

Vor allen Dingen darf man die Lebensweise verschiedener Arten derselben Gattung nicht schematisch vergleichen. Jeder sammelnde Naturforscher weiß, welche großen Unterschiede in den bionomischen Umständen hier vorkommen. Nur das Gesamtbild einer bodenständigen Fauna gibt eine gesicherte Unterlage für weitere erdgeschichtliche oder paläographische Schlüsse.

Aber immer wieder treten, wenn wir ältere, völlig ausgestorbene Lebenskreise untersuchen, so viele Fehlerquellen zutage, daß wir neben den biologischen Daten die lithologischen Eigenschaften des umhüllenden Gesteins zu Rate ziehen müssen, und auch hierbei ergeben sich leicht Trugschlüsse, wenn wir nicht die einzelne Fazies streng von der andern sondern. Wer den Fossilgehalt eines silurischen Kalkes mit dem eines ihm eingeschalteten schwarzen Graptolithenschiefers vermischt, wer die Estherien einer dünnen Lettenschicht mit den Pleuromeien

eines hangenden Dünensandsteins zusammenwirft, kann niemals zu gesicherten Schlüssen über die Bildungsumstände der Gesteine und die Lebensumstände dieser Formenkreise gelangen.

Man könnte die Geschichte der erklärenden Geologie in drei große Abschnitte teilen: zunächst die Zeit, wo man statt der Sintflut oder anderer phantastischer Annahmen allmählich erkannte, daß der Fossilgehalt der geschichteten Gesteine am Boden des Urmeeres entstanden sei. Diese Periode schließt etwa mit A. G. Werner ab, der zum erstenmal auch die Schichtenfolge vom Gneis durch das Transitionsgebirge, die sekundären Gesteine und die tertiären Lockermassen bis zum Basalt durch neptunischen Absatz am Meeresgrund erklärte.

Dann begann die zweite Periode, in der man allmählich einsah, daß geschichtete und ungeschichtete Trümmergesteine auch in Süßwasser gebildet worden seien. Der Kampf von Mohr-Bischoff um die Kohlenlager ist für diese Zeit bezeichnend.

Endlich erkannte man, daß glazialer Geschiebelehm und Löß auch auf dem Festlande entstehen; man lernte verstehen, daß geschichtete vulkanische Tuffe niemals von Wasser bedeckt waren, und zuletzt gaben uns die weiten Wannen der Wüste Aufschlüsse über die Bildung gewaltiger Konglomerate, mächtiger Sandsteine, bunter Letten und ausgedehnter Salzlager ohne dauernde Wasserbedeckung, hoch über dem Meeresspiegel und fern von dessen Küsten. Aber auch dieser Fortschritt war mit heftigen Kämpfen verknüpft, die noch heute nicht abgeschlossen sind.

Unser Grundsatz muß sein, festländische Umstände nicht aus dem Mangel an marinen Ablagerungen und dem Fehlen kiementragender Fossilien zu erschließen, sondern durch Studium rezenter festländischer Ablagerungen nach den Grundsätzen der ontologischen Methode positive Kennzeichen für die Bildung derselben außerhalb der Meeresbecken zu gewinnen. Denn nur wenn wir für jede Periode den Gegensatz von Ozean und Land scharf unterscheiden, können wir die Vorgänge verfolgen, die sich im Laufe der Vorzeit durch das transgredierende Wechselspiel beider Medien ergaben.

Konkordanz und Diskordanz sind, wie wir gezeigt haben, nicht immer der Ausdruck für Meeresgrund und Festland, sondern bezeichnen die jeweiligen Räume der Abtragung und Auflagerung. Kiementragende Tiere leben ebenso im Süßwasser und übersalzenen Binnenseen, wie im Meere. Wir müssen daher andere Gesichtspunkte hervorheben, um die von festem Grunde, weichem Schlamm, flüssigem Wasser oder leichter Luft bedeckten und erfüllten Lebensräume lithologisch zu unterscheiden; nur aufgelagerte Gesteine kommen bei diesen Betrachtungen in Frage.

Die meisten Gesteine lassen an ihrem Gewebe, Gefüge und Umriß erkennen, ob sie auf dem Festlande oder am Grunde großer Wasserbecken abgelagert worden sind.

Das Festland ist zunächst das Bildungsgebiet der Verwitterungsdecken, die mehr oder minder mächtig das anstehende Gestein überlagern und durch ihre rote (Laterite), braune und gelbe (Limonite), geschwärzte (Melanite) oder gebleichte Farbe (Leukonite) erkennen lassen, unter welchen klimatischen Umständen sie entstanden. Oft sind sie durch andere Klimabedingungen nachträglich verfärbt oder in Lesedecken verwandelt (Panzerung, Überstreuung mit grobkörnigem Material, Grundkonglomerat, Blockfelder). Auch sobald solche Decken unter dauernde Wasserbedeckung geraten, werden sie oberflächlich verändert und mit Bildungen von anderen Geweben bedeckt. Besonders leicht entfärbt das Seewasser die roten und braunen Verwitterungsmassen; die braune Flußtrübe der größten Ströme verwandelt sich rasch in den blaugrünen Schlamm der Flachsee und die roten Konglomerate des Unterperm sind durch das Zechsteinmeer zu Grauliegendem geworden. Am Bohlen kann man die spätere marine Umfärbung der mit rotem Schlamm getränkten devonischen Schiefergesteine unter dem hangenden Zechstein deutlich verfolgen.

Auch alle Breschen, sowie die mit scharfkantigen Einschlüssen versehenen Konglomerate und Blocklehme, sind Zeichen des Festlandes. Wenn das diluviale Eis von Skandinavien einen breiten Lappen über Dänemark bis England schob, so nahm derselbe zwar am Nordseeboden Sedimentteile und Muschelreste in seine Grundmoräne auf, aber diese Gesteine wurden endgültig auf festländischem, nicht auf marinem Untergrunde abgelagert.

Besonders bezeichnend für Festland sind die roten Konglomerate, Buntwacken und Grauwacken der Altzeit. Ihre rasch anschwellende Mächtigkeit und ihr häufiges Auskeilen deuten auf lokale Wannen, welche den Schutt der umgebenden Gebirgsketten sammelten, bis deren letzte Zacken in der Kieswüste untertauchten. Das Auftreten scharfkantiger Bruchstücke von Feldspat, selbst wenn sie später kaolinisiert wurden, in Buntwacken und Arkosen ist ein zweifelloses Zeichen für Festland und Wüste.

Auch alle Quarzsande sind ursprünglich festländischer Entstehung und ihre Korngröße ist nicht durch die Länge des Transportes bedingt, sondern durch die Korngröße der quarzführenden Gneise und Granite, aus denen Wind und Wasser die Quarzkristalle herauslasen. Sobald die den letzteren eigenen kataklastischen oder muscheligen Sprünge die Form und Größe der Quarzkörner bestimmt haben, ändert auch der Weitertransport wandernder Dünen und sandreicher Flüsse nicht wesentlich ihren Umriß. Sie werden noch etwas abgerollt oder poliert, aber ihre

Form ist gegeben. In der Regel häufen sie sich in regenarmen Wannen und sinkenden Niederungen des Wüstenlandes an, und wir erkennen an der diagonalen Kreuzschichtung die von dauernden oder wechselnden Gegenwinden gebildeten Dünen, während dazwischen wasserreiche Ruckregen ihre Massen zu horizontal geschichteten Sandfeldern ausbreiten, deren Oberschicht durch Auslese der schweren Körner oft mit grandiger Lesedecke gepanzert erscheint. Wo aber konstante Winde von der Sandquelle bis zum fernen Meere wehen, gelangt ihre Drift bis zur Flachsee und wird dort in derselben Weise geschichtet, durch schwache Tonschichten gegliedert und mit marinen Fossilen überstreut, wie andere unter Wasser entstehende Sedimente.

Während die blauen, grünen oder grauen Letten leicht am Meeresgrund und schwarze am Boden lebloser Halistasen entstehen, sind die roten Letten, die in so riesiger Mächtigkeit von den roten Tonschiefern der Altzeit durch die Perm- und Triasperiode verbreitet sind, in festländischen Wannen gebildet. In Westaustralien kann man die Zufüllung vielgestaltiger Senken (auf der Karte als blaue „Seen" eingetragen) durch salzigen roten Staub und Schlamm heute noch beobachten. Ihre völlig horizontale Oberfläche, aus der zackige Klippen wie Inseln hervorragen, ihr am Cycadeen-reichem Waldgebiete scharfabgeschnittener Rand, ihre leblose Fläche, auf der nicht einmal eine Känguruspur oder ein Vogelfuß sich abdrücken kann, weil jedes Tier die feuchte tote Tonebene meidet, entspricht ganz den aus älteren Lettenprofilen bekannten Bildungen. Mögen sie gelegentlich von Regenwasser bedeckt werden, das erst nach einigen Jahren verdampft, nachdem der vergängliche Binnensee mit Fischen, Mollusken oder Krebsen besiedelt worden war, mag in der Nähe des Meeres auch die Salzflut über solche Lettenpfannen transgredierend hereinbrechen, sie gehören doch zu den festländischen Gebilden.

Auch die in fossilreichen marinen Schichtenfolgen gelegentlich auftretenden fossilleeren Zwischenschichten müssen nach den oben geschilderten Umständen beurteilt und dürfen nicht als „Strandbildung" kritiklos zum ozeanischen Gebiet gerechnet werden.

Eine wichtige Rolle innerhalb aller Süßwasserablagerungen spielen die Untiefen, welche durch ganz verschiedene Umstände rasch entstehen und auch wieder vergehen können, um mitten zwischen neptunischen Ablagerungen sogar äolische Einschaltungen auftauchen zu lassen.

Bei den häufigen Oszillationen jeder großen Wasserfläche durch Senkung, Hebung, Zufüllung, Abtragung des Grundes, eustatische Bewegungen der Wassermassen oder klimatische Einflüsse (Windstau, Verdunstung, Niederschlagsmengen im Küstengebiet), kann sich leicht mitten in einem mit horizontal geschichteten Ablagerungen bedeckten Becken ein ganzer Archipel flacher Untiefen bilden, die mehr oder weniger aus der Wasserfläche auftauchen. Hier beginnen sofort die Kräfte der At-

mosphäre einzuwirken, tonige Sandgemische werden zu körnigen Lesedecken verarbeitet, Dünensande treten hervor und häufen sich zu hohen Sandbergen an. Ihre diagonale Schichtung läßt die Schaumkalke im Muschelkalk, die Werksteinbänke von Crailsheim und manche ähnliche Einschaltung in horizontalen Meeresablagerungen als fremdartige Bildung leicht erkennen.

Die Kräfte des festländischen Klimas bestimmen auch die Abscheidung der meisten aufgelagerten Niederschläge. Mag auch das Meer so reich an Kalksulfaten und Chloriden sein, daß es die unerschöpfliche Quelle von Gips- und Salzlagern wird — die Ausscheidung der Lösung erfolgt nicht am Meeresgrund, sondern nur da, wo Seesalze und deren Lösungen in den dynamischen Bereich des festländischen Klimas gelangen. Noch keine Grundprobe brachte vom Meeresboden ein Salzkorn oder einen Anhydritkristall herauf. Selbst die Ausscheidung von Kalkoolith im flachen Seichtwasser tropischer Meere ist nur an einer ariden Küste möglich und wird dadurch zu einem wichtigen klimatischen Hinweis für das Klima des benachbarten Landes.

Die aufgelagerten Magmagesteine entstehen zunächst durch den Ausfluß glühender Lava aus einem Kanal oder einer Spalte, und es hängt von der Masse der Lava, der Zäh- oder Leichtflüssigkeit des Magmas und der Gestalt des Untergrundes ab, in welcher Form solche Lavagesteine zur Erstarrung kommen. Oft entsteht über dem Kanal eine lokale Quellkuppe, und wächst wie der Colle Umberto im Atrio del cavallo innerhalb weniger Monate zu einem 200 m hohen Lavadom empor. Die Annahme ist weit verbreitet, daß bei einer Quellkuppe die äußeren Schalen zuerst, der Kern zuletzt gebildet werden; aber nach dem Bericht von Augenzeugen geriet zunächst der ganze aschenbedeckte Boden in eine regellos zitternde Bewegung, dann brach aus dem berstenden Grunde die Lava hervor und türmte sich, indem die erkalteten Flanken der Kuppe immer wieder rissen und von Lavagerinnen übergossen wurden, so auf, daß die Außenseite zuletzt gebildet wurde.

Die häufigste Form eines festländischen Lavaergusses ist der Lavastrom. Seine anfangs schmale, dann sich verbreiternde Gestalt, seine Ablenkung oft durch einen kleinen Hügel, ein Gemäuer oder gar einen frisch aufgeworfenen Graben, seine Vergabelung und Wiedervereinigung ist an den italienischen Vulkanen oft studiert worden. Auf ebenem Gelände können leichtflüssige Laven meilenweite Decken bilden, die dann, von geschichteter Asche überschüttet, wieder zur Unterlage neuer horizontaler Decken werden. So bauen sich viele Vulkangebiete aus einer vulkanischen Schichtenfolge auf, welche ebenso geschichtet ist, wie eine Sedimentplatte, obwohl ihre Bildung nach Ausweis der geologischen Umwelt auf trockenem Lande erfolgt ist.

Wenn Lavaströme mit ihrer Stirn das Meer erreichen, dann bewirkt die plötzliche Abkühlung, daß ihre Unterseite in Säulen zerspringt, während der obere Teil des Stromes massig bleibt. Bei Torre del Greco, auf Lipari wie in Schottland (Fingalsgrotte) sind solche „vulkanische Strandmarken" in prächtigen Aufschlüssen erhalten.

Leider wissen wir sehr wenig über die Lagerungsformen, welche submarine Lavamassen annehmen. Die Lotungen in der Umgebung der meisten marinen Vulkane spricht dafür, daß ihr Kern von lokal sehr mächtigen Quellkuppen gebildet wird und daß ausgedehnte Lavadecken nicht unter Wasser entstehen; doch wäre diese Frage noch genauer zu prüfen. Ganz besonders wichtig aber wären Untersuchungen über den Aufbau einer später „gehobenen" Vulkaninsel, innerhalb deren die Umrisse unter und über Wasser ausgeflossener Lavamassen verglichen werden können. Vulkaninseln, die mit gehobenen Korallenriffen bewachsen sind, oder deren Schichtenfolge durch eine festländische lateritische Verwitterungsdecke durchschnitten wird, eignen sich für derartige Untersuchungen besonders.

In buntem Wechsel mit ausfließenden Laven oder für sich allein dringen nun die vulkanischen Trümmer aus dem Schlot und bilden die geologisch so interessanten Tuffe. Feinstaubige Aschen, körnige Sande, gröbere Lapilli und vielgestaltige Bomben werden durch die explodierenden Dämpfe hoch in die Luft geschleudert und fallen als ausgedehnter Aschenregen über weite Landflächen, können Wasserbecken zufüllen und sich in Seen wie auf dem Meeresgrund verbreiten. In der Regel fallen die groben Massen nahe dem Schlot wieder herab und schütten den bekannten Kraterwall auf. Wir nennen die verschiedenen Tuffe, die auf festem Lande abgelagert wurden, Trockentuffe.

Beim Auffliegen wie beim Niedersinken aus der Atmosphäre findet eine Sonderung nach Korngröße und Schwere statt, und da fast bei jeder Eruption gewisse Korngrößen dominieren, die sich nach demselben Gesetze der Schwere durch die Luft bewegen, entstehen geschichtete Tuffe, bei deren Gefüge das Wasser keine Rolle spielt. Allerdings können durch rasch aufeinanderfolgende Aschenwolken von verschiedener Korngröße Bomben zwischen Feinaschen und Lapilli zwischen Sandaschen eingestreut werden und manche Tuffe sind daher wie ein Blocklehm aus regellos gemischtem Material aufgebaut.

Die luftreichen Feinaschen erscheinen oft nach dem Fall meist wie frischer Schnee, doch wandelt sich bald ihre Farbe in grau, rötlich, gelb oder schwarz, je nach dem vorherrschenden Mineralbestand. Brun hat die Entstehung der zinnoberroten Tuffe, welche man auf manchen Vulkanen findet, durch besondere chemische Umstände bei der Explosion erklärt.

Die Eruption des Mont Pelée lehrte uns die Bildung von vulkanischen Dampfwolken kennen, deren staubfeine Aschen zu einer schweren Emulsion mit überhitzten Gasen gemischt, nicht senkrecht in die Höhe stiegen, sondern langsam den Vulkanabhang hinabglitten und dann zu einem ungeschichteten Tuff verhärtete. Die Pipernotuffe von Neapel, der Traß des Brohltals und manche ähnliche Gesteine (Porphyrtuffe von Rochlitz) älterer Vulkane müssen auf dieselbe Weise erklärt werden. Die Profile in der Umgebung von Neapel bieten lehrreiche Aufschlüsse über die wechselvolle Geschichte solcher Eruptionen.

Manche Tuffe sind pisolithisch, d. h. aus kleinen Aschenkügelchen von 2 bis 5 mm aufgebaut. Ihre Entstehung ließ sich 1906 am Vesuv leicht verfolgen, als ein feiner Regen die Aschenflächen benetzte und sich um jeden Wassertropfen kleine Staubkugeln aufsaugten, die den Abhang herabrieselten und kleine Senken 5 bis 15 cm hoch erfüllten.

Die Wirkung solcher Aschenregen auf die marine Tierwelt wurde schon auf Seite 332 f. geschildert. So bilden sich am Boden des Meeres geschichtete vulkanische Sedimente mit fossilreichen Zwischenschichten.

Ganz andere Vorgänge beobachtet man bei submarinen Eruptionen, und die hierbei gebildeten Wassertuffe müssen ganz andere Eigenschaften zeigen: Zunächst wird bei denselben das Meer durch Gase und siedend heißes Wasser in kochende Bewegung gebracht. Bis 8 km Abstand beobachtete man nach der Eruption von Santorin eine um 8° C höhere Temperatur und nach 20 Jahren war das Meerwasser einer Bucht so reich an freien Säuren, daß sich kupferbeschlagene Schiffe darin vor Anker legten, um die Überzüge von Austern und Serpeln auf dem Schiffsrumpf zu entfernen. Daraus geht hervor, daß submarine Wassertuffe in der Regel ungeschichtet und fossilleer sind und sich nur in der weiteren Umgebung in geschichtete fossilführende Aschengesteine verwandeln.

39. Das fossile Gelände

Jedes rezente oder fossile Lebewesen bewohnt, sofern es nicht zur universellen Schwebewelt oder zur abgestorbenen Treibwelt gehört, einen Untergrund, dessen Form und Beschaffenheit seiner Lebensgewohnheit zusagt und seine Verbreitung bestimmt. Die erste Aufgabe einer paläontologischen Untersuchung muß es daher sein, festzustellen, ob eine oder alle Arten eines bestimmten Fundortes bodenständig darauf gelebt haben oder von einem anderen Lebensraum herbeigetragen und bodenfremd hier nur eingebettet wurden.

Wo die Reste der betreffenden Art, mit Ausschluß anderer Arten, oder vorwiegend in unverletztem Zustand gefunden werden, darf man in der Regel ihre Heimat sehen und aus den Eigenschaften ihrer Umwelt ihre

Lebensweise erschließen. Wir haben schon mehrfach darauf hingewiesen, daß nur die das Fossil umhüllende Gesteinsmasse und nicht eine mit ihr wechsellagernde andere Fazies hierbei zugrunde gelegt werden darf.

Wenn wir die bionomischen Umstände einer fossilen Fauna ergründen wollen, so müssen wir uns zunächst darüber klar werden, daß zur Zeit ihres Lebens nur das geologisch Liegende vorhanden war. Alle hangenden Gesteine mit ihrem Fossilgehalte müssen wir also abdecken und alle später erfolgten diagenetischen, tektonischen und denudierenden Vorgänge rückgängig machen.

Der topographisch wechselnde Untergrund, auf dem die Organismen des Landes oder des Wasserbodens leben, nennen wir das Gelände und stellen dem rezenten Lockerboden das fossile Gelände gegenüber. Dasselbe ist in vielen Fällen von hangenden Deckschichten entblößt und tritt in der Gegenwart wieder frei zutage; häufiger ist es unter dem Hangenden begraben und kann nur im Querschnitt günstiger Aufschlüsse untersucht werden.

Besonders eindrucksvoll hat uns W. W. Watts eine solche begrabene oder später denudierte Landschaft vor Augen geführt. Im mittleren England (Leicestershire) erhebt sich aus der weiten, mit roten Triasletten bedeckten Ebene das vielgestaltige Gelände von Charnwood Forest, berühmt als der Hintergrund von König Lears Schicksalen. Zwischen alten Klosterruinen, malerischen Parkanlagen, kleinen Wäldern und bebuschten Ödländern ragen steile, zackige Klippenzüge hervor, und in großen tiefen Aufschlüssen werden die roten Triasgesteine abgedeckt, um die darunter liegenden schwarzen Schiefer und grauen Granite zu gewinnen, zwischen denen vulkanische Tuffe mit groben Konglomeraten auftreten. Die vielgestaltige Denudationsfläche der obertriadischen Wüste zeigt dieselben Geländeformen, die uns die heutige Wüste unterscheiden läßt. Scharf eingeschnittene Trockentäler, regellos ausgewitterte Felsengrate und in phantastische Gestalten zerlegte Granithügel werden hier „ausgegraben“, und das fossile Gelände ragt aus der uralten Keuperzeit fremdartig in die rezente Gegenwart hinein.

Salomon hat vorgeschlagen, solche alte Bodenformen als „tote Landschaften“ zu bezeichnen, aber das Wort „fossil“ gilt für solche alte Denudationsflächen ebenso, wie für die Überreste einer ausgestorbenen Art. A. Pencks Untersuchungen der algonkischen Torridonsandsteine in Schottland lehrten uns die steilen Böschungen alter Wüstentäler kennen, die, von gewaltigen Schuttmassen erfüllt, zur Unterlage kambrischer Meeresbildungen wurden, und seine Arbeiten haben uns auch gelehrt, viele auffallende Züge in der heutigen Geländegestalt der norddeutschen Tiefebene und des Alpenvorlandes als diluvial zu betrachten. Auch hier haben wir fossile Landschaftsformen, an denen die abtragenden Kräfte der alluvialen Gegenwart nur geringe Änderungen erzeugten.

Weiter zurück führte uns PHILIPPI, als er die „präoligozäne“ Landoberfläche Deutschlands schilderte. Wir wissen heute, daß ihre Gestalt im wesentlichen in der Kreidezeit vor Beginn des Eozän angelegt wurde; denn vielfach wird sie noch von den braunkohlenführenden Tonen des älteren Tertiär überlagert. Reste von roten Verwitterungsdecken und die durch Wegführung von Eisen und Kieselsäure entstandenen Kaolinlager der Umgebung von Halle und Meißen deuten auf das damals herrschende Klima.

Eine ältere fossile Landschaft dehnt sich unter den cenomanen Schichten des Plauenschen Grundes bei Dresden, sowie ähnlicher durch H. B. GEINITZ und PETRASCHECK klassisch gewordenen Profile in Sachsen, und die Untersuchungen von WURM haben im Schwarzwald und von BR. V. FREYBERG in Thüringen die permische Landschaft wieder aufleben lassen, die im Bohlenprofil so wirkungsvoll aufgeschlossen ist.

So lernen wir in solchen Fällen wie aus der Vogelschau ein Gelände überblicken, das keines Menschen Auge sah, als es gebildet wurde, das aus der uralten Vorzeit in die Gegenwart hineinragt und das ebenso fossil ist, wie die Knochen eines damals lebenden Tieres.

Aber diese abgetragenen Geländeformen bilden doch nur einen Teil der damals vorhandenen Erdoberfläche und man pflegt solche Gebiete als ehemalige Kontinentalräume den gleichzeitig gebildeten geschichteten Meeresablagerungen gegenüberzustellen. Auch sie können wir bis zu einem bestimmten Horizont abtragen und ihre dann zutage tretenden Gesteinsoberflächen als die Wohnorte der darüber verstreuten Fossilien betrachten.

Alle an der Erdoberfläche tätigen Kräfte verändern die Erdrinde in doppelter Weise: Zunächst lockern die atmosphärischen Kräfte den festen Verband anstehender Gesteine bis in wechselnde Tiefe, entfärben chemisch die farbigen Gemengteile und bilden die für die Klimazonen bezeichnenden Verwitterungsdecken, aus deren Umlagerung die Lockerböden entstehen. Dann nehmen sie an der einen Stelle vorhandene Teile weg: Lösung, Verwitterung, Abstürze durch die Schwerkraft, Deflation durch den Wind, Erosion durch das Wasser, Exaration durch das Eis entblößen immer tiefer liegende Zonen der Erdrinde und bewegen das gelockerte Gestein. Wir nennen die Summe dieser abtragenden und entblößenden Vorgänge Denudation oder Abtragung. Im Querschnitt des geologischen Profils erscheint dieser Vorgang als eine Diskordanz, welche ältere Gesteine meist mit unregelmäßig gestalteter Oberfläche gegen jüngere Deckbildungen abgrenzt.

Der Transportweg der denudierenden Kräfte kann kurz oder lang sein, seine Gestalt ist eine schmale Talrinne, ein gerundeter Gletschertrog, eine abradierte Küstenstufe oder eine weit abgetragene Küstenebene, und ihre Einzelform wird durch die Eigenart der Transportkräfte be-

stimmt. Aber oft haben mehrere Kräfte einander abgelöst und ihre Denudationsformen verwischt. Die längste Dauer haben die Korrosionsformen, welche die transportierende Kraft dem Untergrund und den mitgetragenen Felsstücken eingezeichnet hat. Leicht können wir das vom Wasser rund geschliffene Geröll, das im Eis getragene mit Schliffen und Kritzen bedeckte Geschiebe, und den vom Sandwind bearbeiteten blatternarbigen oder facettierten Windkanter unterscheiden, und ebenso leicht den vom Wasserfall ausgekolkten Felsengrund, den vom Gletscher geschliffenen Talboden oder die vom Sandwind überfegten und von Oasenlücken zerlegte Wüstentafel.

Die topographische Höhe, in welcher solche Diskordanzen gebildet wurden, ist sehr verschieden, und die schwerwiegendsten Fehler sind dadurch entstanden, daß man früher jeden eingeebneten Gebirgsrumpf als marine Transgressionsebene bezeichnete und damit Vorgänge, die im Innern des Festlandes fern von der Küste und oft hoch über dem Meeresspiegel auch heute noch nivellierend tätig sind, als Wirkungen des Strandes betrachtete. Windkanter und geschliffene Geschiebe sind fast immer auf solchen küstenfernen Fastebenen entstanden und auch ausgedehntere Konglomeratbänke entstehen in den Halbwüsten Nordamerikas und Asiens mehrere tausend Meter über dem Meeresspiegel.

Sobald die einzelne Transportkraft erlahmt, bleiben die von ihr verfrachteten kleinen oder großen Trümmer liegen. Oft freilich ergreift sie jetzt eine andere Kraft und bewegt sie in anderer Form weiter, zerstört frühere Korrosionserscheinungen und ersetzt sie durch neue Schliffformen. Der Gletscher schmilzt und seine Geschiebe werden vom Schmelzwasser so rasch abgerollt, daß Schliffe und Kritzen verschwinden. Der sandführende Fluß vertrocknet am Rande eines Wüstenlandes und der Wind treibt die Sandkörner in breiten Dünenbogen weiter. Blatternarbige Windkanter verlieren ihre Skulptur, sobald sie ein kurzer Ruckregen über die Felswüste rollt, und so gehört schon gründliche Beobachtung dazu, um nicht das beständige Wechselspiel der Naturkräfte durch ein monodynamisches Schema zu verwirren.

Endlich aber mündet der Fluß ins Meer oder verdampft auf einer weiten Kiesebene, das gewaltige Eisfeld schmilzt und bedeckt mit seiner mächtigen Grundmoräne die Hochebene, der Sand und der feinkörnige Schlamm und Staub kommen zur Ruhe und jetzt beherrscht die Auflagerung des Gelockerten und Verfrachteten das Gelände.

Wenn die Vorgänge der Abtragung die diskordanten Trennungsfugen in einem Profil schaffen, so lernen wir aus der regelmäßig konkordanten Schichtenfolge die Räume der Auflagerung und Gesteinsneubildung kennen.

Man pflegt diesen lithogenetischen Gegensatz mit den Begriffen Kontinent und Ozean zu bezeichnen, aber beide Worte sind nicht richtig gewählt. Jeder Geograph weiß, daß die Grenzen unserer Konti-

nente untermeerisch bis jenseits der Kontinentalstufe reichen, die man auch als „Schelf" bezeichnet, und ein Binnensee wie der Aral oder Balkasch, an dessen Grunde sich lebhafte Ablagerung in konkordanter Folge vollzieht, gehört nicht zum Gebiet des Weltmeeres. Es ist daher nicht richtig, in allen solchen Fällen von „kontinentalen" Bildungen zu sprechen, denn sie entstehen in genau derselben Weise auf jeder größeren ozeanischen Insel. Das Wesentliche, das beide Bildungsräume kennzeichnet, ist das Festland, nicht der Block des Kontinents.

Noch fehlerhafter aber ist es, wenn man jede geschichtete Ablagerung als „marin" bezeichnet. Denn die roten Letten im Innern von Westaustralien, die grauen Salztone der turkmenischen Takyrebenen und die wohlgeschichteten Konglomerate der texanischen Wannen erreichen ungeheure Mächtigkeit, obwohl bei ihrer Bildung das Meer keinen Anteil hatte.

Konkordanz und Diskordanz entsprechen Auflagerung und Abtragung, aber die näheren Umstände, unter denen beide Schichtenfugen entstanden, müssen durch besondere Untersuchung der begleitenden Umstände im Liegenden und im Hangenden untersucht werden.

Die Mehrzahl der Abtragungsflächen sind vielgestaltig geböscht und die meisten Ablagerungsflächen waren zur Zeit ihrer Bildung horizontale Ebenen. Aber es gibt auch bemerkenswerte Ausnahmen:

Das durch Abtragung entstandene Gelände zeigt bei vorwiegender Erosion eine mehr oder minder steile, aber gleichsinnige Abdachung von der festländischen Wasserscheide bis zum Meeresufer. Aber schon in regenarmen abflußlosen Gebieten ordnen sich die Wasserscheiden zu geschlossenen Schleifen, und einzelne kleine oder große Wannen reihen sich so aneinander, daß die Abdachung bald bergauf, bald bergab leitet. So entstehen lokale Trümmermassen von großer Mächtigkeit, die nicht nacheinander, sondern gleichzeitig nebeneinander gebildet wurden. Viele ältere Konglomerate und Sandsteine sind unter solchen Umständen in den Urwüsten entstanden.

Da die Deflation des Windes leicht weite Ebenheiten erzeugt, kann auch eine vom Wasser abgetragene Landschaft zur Fastebene werden, sobald kurze Regenperioden, von längeren Trockenzeiten unterbrochen, auftreten, wie wir solche besonders an der Grenze des Wüstengürtels gegen das tropische Regengebiet beobachten.

Die Exaration des fließenden Eises wirkt zwar auf gleichsinniger Böschung von Berg zu Tal, allein große eingeschaltete Senken können hierbei leicht überschritten werden. Denn nachdem sie bis zum Rand mit Eis erfüllt wurden, schieben sich die weiten Eisdecken, scheinbar der Schwere entgegen, über aufragende Felsenriegel.

Die Korrasionsformen des Untergrundes und der mit verfrachteten Felsblöcke werden es erleichtern, diese Transportkräfte zu unterscheiden.

Erneut müssen wir hier betonen, daß die von Ramsay und F. v. Richthofen einst vertretene Ansicht, daß die Meeresbrandung eine schmale Strandlinie durch fortdauernde Arbeit in eine immer breiter werdende Uferterasse verwandeln und hierbei ganze Gebirgsländer abhobeln (Transgression!) könne, sich als unrichtig erwiesen hat.

Die Frage der Schelfbildung, die man vielfach als die normale Abtragungsform des Meeres betrachtete und welche den Ausgangspunkt für v. Richthofens Abrasionstheorie bildete, wird uns in dem Abschnitt über die Schneezeiten noch eingehend beschäftigen.

Die biologischen Wirkungen eines stark geböschten festländischen Geländes treten uns an jedem Gebirgsabhang entgegen. Die Flora ändert sich mit der Höhe und in übereinandergelegten Gürteln oder an den nach verschiedenen Himmelsrichtungen orientierten Abhängen wachsen vermittelnde Gäste zwischen bodenständigen Genossenschaften. Wir müssen bei jeder fossilen Lebewelt, deren umhüllende Gesteine Zeichen eines Transportes von oben nach unten oder vereinzelte bodenfremde Einschlüsse erkennen lassen, an die Möglichkeit denken, daß sie aus ganz verschiedenen, topographisch übereinanderliegenden Wohngebieten gemischt sein könne und müssen den gesamten Fossilgehalt eines groben Trümmergesteins mit eingeschalteten feinkörnigen Sedimenten zunächst nach seiner Herkunft prüfen, ehe wir weitere paläographische Schlüsse daraus ziehen. Eine bestimmende Rolle spielt hierbei der Lockerboden in dem die Flora wurzelt. In den schlammigen Lagunen der regenreichen Malabarküste gedeihen Sumpfgewächse und die breiten Schirme der Lotosblumen überragen den Wasserspiegel ebenso, wie einst in den karbonischen Sümpfen Wasserfarne und Sphenophylen gediehen, während die breiten Blätter des Dolerophyllum daraus hervortauchten. Auf der trockenen Malabarküste aber begegnen uns unter derselben Breite weite mit dornigen Steppenpflanzen übersäte Ebenen, ebenso wie die Grauwacken, aus denen wir Archäocalamites herausschlagen, auf dürre Sandfelder deuten. Und wie auf den hohen Bergen Südindiens die fußdicken Rhododendronbäume blühen, deren Stämme nur durch seltene Regenfluten abgerissen auch in die Kiesbetten des Tieflandes geraten, so mögen an den Abhängen des varistischen Gebirgslandes oder auf den rotliegenden Vulkanen die Cordaiten und Walchien in einzelnen Talrinnen gewachsen sein. Ihre Blätter finden wir in grobkörnige Tuffe und ihre verkieselten Stämme in mächtigen Konglomeratbänken eingefügt.

Die festländische Tierwelt ist von der Böschung und der Bergeshöhe viel unabhängiger. Raubtiere durchstreifen nachts die felsigen Täler, soweit wie ihre Beute wandert; selbst das gewaltige Nashorn erklettert nach Junghuns Bericht den 3000 m hohen Vulkankegel des Gedeh, auf dessen Gipfel ein besonders zartes Gras wuchs.

Ganz anders wirkt die Böschung, mit der sich Küstenabhänge, Inseln und Untiefen über den *Meeresgrund* erheben. Hier scheidet die Assimilationsgrenze, bis zu der das Sonnenlicht und die Sonnenwärme eindringen, eine pflanzenreiche Oberschicht von den dunklen Tiefen und alles Bewegliche gleitet zu ihr rasch oder langsam hinab. Das kalte Polarwasser bringt Sauerstoff, Sinkströme tragen Pflanzenreste in die Tiefe und alle tierischen Hartgebilde, die nicht aufgewachsen oder tief im Sediment verankert waren, kollern über den Abhang. Selbst das lockere Sediment bewegt sich dem Zug der Schwere folgend, und wenn auch manche seltsam gefaltete Zwischenschicht, wie wir früher ausführten, durch salinische Diagenese verknetet wurde, so ist doch das Absinken des Sediments am See- und Meeresgrund ein oft beobachteter Vorgang. Mit ihm sinken die Hartgebilde der Bodenwelt und der im Wasser schwimmenden, schwebenden und treibenden Organismen in tiefere Zonen.

So geraten die meisten fossilen Überreste in topographisch tiefer liegende Gebiete und im weichen Schlamm des Meeres sammeln sich die Bewohner ganz verschiedener, darüber liegender Lebensbezirke.

Im Zusammenhang mit der Böschung des Geländes wird vielfach die Frage nach der *Korngröße von Trümmergesteinen* behandelt. Es ist klar, daß die *Gerölle* eines Flusses mit zunehmender Entfernung von ihrer Heimat eine Verkleinerung erfahren. Diesen Satz darf man aber *nicht auf Sandkörner* übertragen, deren Durchmesser nach meinen Erfahrungen durch den Transport nicht wesentlich verändert wird. Ihre Dimension wird bestimmt durch die Größe der in den kristallinen Ursprungsgesteinen enthaltenen Quarzkristalle und deren Spalten. Ein feinkörniger Granit liefert meist kleinere Quarzkörner als ein grobkörniger Riesengneis, aber auch der letztere kann in ebenso kleine Körner zerfallen, wenn er durch Gebirgsdruck gepreßt wurde. Beim Transport durch Wasser oder Wind werden diese Sprungstücke zwar enteckt und gerundet, aber wenn erst diese Abnutzung zur Bildung eines glattrandigen Kornes geführt hat, ist die endgültige Korngröße erreicht, und kann weiterhin nur ganz geringfügig verkleinert werden. Größere, d. h. schwerere Körner werden oft längere Ruhezeiten erleben als kleinere, aber jeder Ruckregen steigert die Stoßkraft eines Flusses ebenso wie der Samum die Wanderwege der Sanddünen. Selbst die grobkörnige Lesedecke eines Barchans gerät in Bewegung, wenn ein heftiger Gegenwind die Sandmasse von der Seite packt. Die Korngröße der Sandsteine kann also nicht zu Schlüssen über den Abstand oder die Böschung der Sandquelle herangezogen werden.

Steilgeböschte und gegen die Ablagerungsgebiete sich meist verflachende Geländeformen bilden sich am leichtesten im Bereich von *Störungsgebieten*. Selbst wenn ein ehemaliges Kettengebirge nur aus dem Faltenbau des Untergrundes erschlossen werden kann, darf man doch

für alle zwischen der Faltung und dem Beginn der diskordanten Überlagerung liegenden Zeiträume die betreffende Gegend als vielgestaltiges **Bergland** behandeln. Auch wenn die alten Längs- und Quertäler nicht mehr erkennbar sind, wird die Heimat der Gesteine, aus dem der an ihrem Ausgang abgelagerte breite Schuttfächer zusammengesetzt ist, sowie die Ausdehnung und Mächtigkeit solcher grober Trümmergesteine die Lage der Senken erschließen lassen, nach denen die hydrographischen Abflußrinnen führten. Die Verteilung oberkarbonischer und rotliegender Trümmermassen, oder der Nagelfluhbänke am Ausgang miozäner Alpentäler sind bekannte Beispiele hierfür.

Steilgeböscht waren ursprünglich auch die Vulkankegel, deren letzte Tuffreste oft nur noch in kleinen Winkeln vorhanden, deren Lavaströme vielfach in Basaltberge zerschnitten, deren Gänge und Stiele nur in Mauern und Kuppen erhalten, nur schwer die Flächenausdehnung ehemaliger Vulkangruppen erschließen lassen.

Wo sandreiche Flüsse aus verwitterten Granit- oder Gneisgebirgen auf eine Wüstenebene münden, in der sie langsam versiegen, wird zunächst eine Sandsteinablagerung entstehen, welche Strudelschichtung und die Auswaschungsformen neptunisch gebildeter Sandmassen in zahlreichen kleinen Diskordanzen erkennen läßt; diese Schichtungsformen wiegen noch im Randgebiet des Schwarzwald-Vogesendoms vor, aber je mehr wir in die Buntsandsteintafeln von Hessen und Thüringen vordringen. desto deutlicher und verbreiteter werden die äolisch aufgebauten diagonal geschichteten Sandsteinbänke.

Alle ausgedehnten Fastebenen der Gegenwart, wie der geologischen Vorzeit, sind festländischer Entstehung, und wenn sie später vom Ozean überflutet wurden, so stehen diese beiden Vorgänge in keinem ursächlichen Zusammenhang.

Den Abtragungsgebieten stehen die **Regionen der Auflagerung** grundsätzlich gegenüber, aber manche Profile zeigen durch den wiederholten Wechsel von konkordanten und diskordanten Trennungsfugen, daß beide Vorgänge sich gelegentlich an derselben Stelle rasch ablösen können.

Das klassische Bohlenprofil zeigt mit lapidarer Klarheit, wie rasch aus der unebenen Denudationsfläche eine horizontal geschichtete Ablagerungsebene entsteht. Die ersten Zechsteinbänke legen sich hier wie locker gespannte Tücher über die abgedeckte Antiklinale des Oberdevon, aber nach wenig Metern erscheint die erste straffgespannte völlig horizontale Fuge zwischen den Kalkbänken.

Horizontale, unter sich völlig parallele Schichtenfugen kennzeichnen die Auflagerungsgebiete, mögen sie am Boden der Tiefsee, im weiten Deltagebiet großer Ströme, oder im halbgeschlossenen Nebenmeer ent-

standen sein. Aber auch in festländischen Wannen entstehen unter vorübergehender Wasserbedeckung, fern vom Meer und oft Tausende von Metern über seinem Spiegel horizontale Schichtenfugen.

Konkordante Schichtung entsteht also nicht nur in marinen, sondern ebenso in limnischen und salinen Ablagerungsgebieten, und die roten Letten, welche die westaustralischen Wüstenpfannen in großer Mächtigkeit erfüllen, werden ebenso horizontal geschichtet, wie die grauen Takyrtone, welche ungeheuere Flächen am Rand der turkmenischen Sandwüste aufbauen, oder die mit Salzplatten wechsellagernden dunklen Tone der unendlichen persischen Käwire. Horizontal geschichtet werden aber auch die Sandmassen in der Taklamakanwüste 2000 m über dem Meere, wo der gewaltige Tarim seine wechselnden Flußrinnen in das Sandmeer hineinsendet, und ebenso die mächtigen Kieslager, welche am Mündungsgebiet großer periodisch anschwellender und wieder völlig vertrocknender Regenflüsse in der Kieswüste aller Kontinente entstehen.

Sehr interessante Ergebnisse hatten B. v. Freybergs Untersuchungen über die Schichtenfolge im Wellenkalk, wo weitausgedehnte 1 – 2 m hohe diskordante Uferwände inmitten der konkordant gelagerten Knotenkalke zeigen, daß flache Schlammbänke über die salinische Wasserfläche emporragten, die durch eindringende Sturmfluten bald abgenagt und verkleinert, bald durch neue, aus dem kaum verhärteten Kalkschlamm geformte Wellenkalkgerölle wieder zugefüllt wurden.

Nur wenn man durch sorgfältige Einzelarbeit die Aufeinanderfolge konkordanter und diskordanter Trennungsebenen in einer Gesteinsmasse chronologisch zerlegt und jede einzelne Erscheinung für sich betrachtet, gewinnt man ein richtiges Bild von dem Wechselspiel uralter Bewegungen, welches die Verteilung und Verbreitung der davon eingeschlossenen Fossilien bestimmten.

Wenn man von der Böschung im Liegenden einer neu gebildeten Ablagerung spricht, so denkt man zunächst an das vom Rande des Sammelbeckens nach der Tiefe absinkende Ufergebiet, und die meisten geologischen Vorstellungen über Diskordanzen oder auf unebenem Untergrund neu gebildete Gesteine sehen in jeder solchen Überlagerung eine Strandbildung. Es muß daher mit besonderem Nachdruck betont werden, daß die ehemalige Küstenlinie, d. h. die ursprüngliche Faziesgrenze eines Gesteins nur in den seltensten Fällen erhalten ist, denn spätere Denudation hat meist ein breites Randgebiet entfernt.

Um so häufiger sind in allen Seichtwassergebieten die Untiefen verteilt, die als Sand- und Schlammbänke, Riffe und Klippenzüge den Boden der Gesteinsbildungsräume gliedern. Jede genau aufgenommene Hafenkarte, jede Meereskarte eines Flachseegebietes zeigt uns die zahllosen, bald langgestreckten, bald rundlichen, oft vielgebuchteten kleinen und großen Flächen, die, von rings geschlossenen Isobathen umgeben, nur

selten als Insel bis über den Meeresspiegel ragen, umso häufiger aber in allen möglichen Abständen unterhalb demselben enden.

An den flach oder steil einfallenden Abhängen dieser Untiefen lassen sich alle die zonaren Erscheinungen des Küstengebietes verfolgen: Pflanzenreiche Flächen werden von unbewachsenen unfruchtbaren Abhängen umgeben, lichterfüllte Zonen grenzen an düstere Tiefengebiete, auf denen eine andere Fauna lebt, und dieselben Veränderungen in der Korngröße des Sediments, die wir in bestimmten Abständen von der Küstenlinie beobachten, finden wir in genau derselben Weise, aber mit viel unregelmäßigerer Begrenzung in der Umgebung der Untiefen.

Solange der Meeresspiegel seinen Abstand gegenüber dem Meeresgrund unverändert beibehält, sind auch die lithologischen und biologischen Umstände der seiner Fläche eingestreuten Untiefen dieselben. Allein schon die Sedimentbildung verändert sie unaufhörlich und wenn dazu noch Senkung oder Hebung des Untergrundes, Oszillation des Wasserspiegels oder Transgression und Regression treten, so bedingen diese Vorgänge zahlreiche Änderungen in der Zusammensetzung der Flora und Fauna.

Mitten in der Java-See setzen sich Riffkorallen auf Bimssteinblöcken an und bauen sich, allmählich einsinkend, das Fundament eines neuen Korallenriffes. Im Flachseegebiet schichtet die Meeresströmung Sandbänke auf und damit ändern sich alle bionomischen Umstände der betreffenden Stelle. Jeder vom Meere transgredierend überflutete Landstrich verwandelt sich in einen Archipel und zuletzt in einen Schwarm von sedimentverhüllten Untiefen, und wo durch Rückzug des Ozeans ein neues Landgebiet auftaucht, da erscheint es als flaches Untiefengebiet, dessen landfeste Kerne zu Inseln werden, um sich endlich zu geschlossenen Landflächen zu verbinden.

An den Abhängen der Untiefen aber treten Abrasionserscheinungen fern von der Küstenlinie auf und die mechanische Umlagerung eben gebildeter Gesteine ist hier ebenso häufig, wie am Strande.

Gegenüber dem meist denudierten fossilen Strandgebiet sind die Untiefen in zahllosen Profilen aufgeschlossen und es ist ein grundsätzlicher Irrtum, wenn man in solchen Fällen nacheinander gebildete Strandsäume zu sehen meint, wo gleichzeitig entstandene Erscheinungen über eine weite Fläche regional verbreitet sind.

So einfach es nach dem Gesagten dem Anfänger erscheinen könnte, die Verbreitungsgebiete von Abtragung und Auflagerungsvorgängen für einen bestimmten Abschnitt der Erdgeschichte paläographisch abzugrenzen, so schwierig wird die Aufgabe, wenn wir solche alte Grenzlinien kritisch zeichnen wollen.

Zunächst müssen wir bedenken, daß in der Regel die Gebiete der Abtragung erhalten bleiben und auf Kosten der gleichzeitig gebildeten

Ablagerungen sogar durch spätere Denudation vergrößert werden. Die Grenzen eines alten Meeres oder einstiger festländischer Sammelmulden werden dagegen verkleinert und ein Kranz von Inselbergen oder tektonisch abgetrennten Denudationsresten wird uns erkennen lassen, wie weit einst das Ufer der Ablagerung reichte. Die in vereinzelten Gräben, oder nur in fossilführenden Bomben alter Vulkankegel erhaltenen Stücke der deutschen Liasdecke bieten interessante Beispiele für diese nachträgliche Verkleinerung einer Gesteinsplatte.

Auch tektonische Senken, in denen die betreffende Gesteinsmasse durch Überlagerung verdeckt, oder gehobene Horste, von deren Oberfläche sie entfernt wurde, verzerren das Bild des einstigen Ablagerungsgebietes.

Viel schwierigere Aufgaben entstehen aber dadurch, daß spätere tektonische Störungen auch den Umriß und die Ausdehnung einer neugebildeten Schichtendecke völlig umgestalten können.

Es ist fast unmöglich, eine in enge Falten gelegte Gesteinsplatte wieder auf die Fläche ihrer ehemaligen Auflagerung auszubreiten. Wie will man die ursprüngliche Ausdehnung des mitteleuropäischen Silur- oder Devonmeeres bestimmen? Wie will man das alpine Jurameer umgrenzen, dessen Gesteine durch kretazische und tertiäre Faltung und Überfaltung von seinem Heimatgebiet entwurzelt und in entfernte Gegenden verschoben wurde?

Dieselben Schwierigkeiten erheben sich, wenn wir die großen Überschiebungsdecken des kaledonischen Störungszuges in Schottland und Norwegen in ihre Bildungsregion zurückverlegen wollen.

Aber nicht nur Faltung und Überschiebung stören das einstige Geländebild, sondern ebenso die Bruchbildung und Zergliederung einer vorher einheitlichen Tafel in Gräben und Horste.

Viel zu wenig beachtet sind endlich die horizontalen Verschiebungen, deren universelle Verbreitung nur aus einzelnen Kartenblättern ersichtlich ist, auf denen die denudierten Bänder eines gefalteten Grundgebirges oder die Gänge eines Intrusivgesteins in wiederholten Sprüngen ohne wesentliche Sprunghöhe gegeneinander absetzen. Langsdorf hat als erster im Oberharz diese Verschiebungen zu einer Zeit erkannt, wo die herrschende Lehrmeinung dieselben noch ignorieren zu dürfen glaubte.

Wenn wir die Harzinsel an den zahllosen keilförmig ineinandergreifenden Querbrüchen wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückschieben, wie dies J. Weigelt so erfolgreich versucht hat, dann ändert sich nicht allein das Streichen der varistischen Faltenketten, sondern auch die Lage der einst daraus entstandenen oberkarbonischen und unterpermischen Ablagerungsbecken und der Umriß des alten Festlandes, das den Spiegel des Zechsteinmeeres überragte, bis es in der Triaswüste versank.

Die genaueste paläographische Darstellung eines Stückes fossilen Geländes verdanken wir FILLUNGER, der von der alttertiären Oberfläche Oberschlesiens unter dem hangenden Miozän eine markscheiderisch genau aufgenommene Isohypsenkarte bearbeitete, die Nachahmung verdient.

Literatur

Dacqué, E., Grundlagen und Methoden der Paläogeographie. Jena 1915. — Davis, W. M., A Speculation in Topographical Climatology. American Meteorological Journal, April 1896. — Davis, W. M., La Peneplaine. Annales de Géographie, Bd. VIII, 1899, Nr. 40 u. 42, S. 289—303 u. S. 385—405. — Fillunger s. Walther, Geologie von Deutschland. Leipzig 1920, Fig. 82. — v. Freyberg, B., Die Zechsteintransgression in Thüringen und die Eindampfung der Zechsteinsalze. Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen im Preuß. Staate, Jahrg. 1921. Heft 2. — Lang, R., Das vindelizische Gebirge zur mittleren Keuperzeit. Jahrb. d. Ver. f. Naturkunde, Stuttgart 1911, S. 218. — Meinecke, F., Das Liegende des Kupferschiefers. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanstalt 1910, Bd. XXXI, Teil II, Heft 2; 1911, S. 253—296 — Passarge, L., Die Grundlagen der Landschaftskunde. Hamburg 1919. — Penck, A., Die Formen der Landoberfläche und Verschiebungen der Klimagürtel. Sitzungsber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 1913, IV, S. 77—97. — Penck, A., Die Gipfelflur der Alpen. Sitzungsber. der Preuß. Akad. d. Wissensch., 1919, XVII, S. 256—268. — Penck, A., Wesen und Grundlagen der morphologischen Analyse. Sitzungsber. der Math.-Physk. Klasse der Sächs. Akad. d. Wissensch. z. Leipzig, Bd. LXXII, 1920, S. 65—102. — Penck, A., Morphologie der Erdoberfläche. Stuttgart 1894. — Penck, Geomorphologische Probleme Nordwest-Schottlands. Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdk. Berlin, Bd. XXXII, Nr. 3, S. 146 bis 191, 1897. — Peach, P. N., u. Horne, J., The Geological Structure of the North-West Highlands of Scotland. Glasgow 1907. — Philippi, E., Über die Präoligozäne Landoberfläche in Thüringen. Zeitschr. d. D. Geol. Gesellsch., Bd. 62, Jahrg. 1920, Heft 3, S. 305—404. — Ramsay, W., Orogenesis und Klima. Helsingfors 1910. — v. Richthofen, F., Führer für Forschungsreisende. Berlin 1886. — Ruedemann, R., On some Fundamentals of Pre Cambrian Paleogeography. Proceedings of the National Academy of Sciences, Bd. 5, 1919, S. 1—6. — Salomon, W., Tote Landschaften und der Gang der Erdgeschichte. Sitzungsber. d. Heidelb. Akad. d. Wissensch., Mathem.-naturw. Klasse Abt. A: Math.-physik. Wissensch., Jahrg. 1918, 1. Abhandlung. — Wüst, E., Die erdgeschichtliche Entwicklung und der geologische Bau des östlichen Harzvorlandes. Halle 1908. — Strigel, A., Geologische Untersuchung der Permischen Abtragungsfläche im Odenwald und in den übrigen deutschen Mittelgebirgen. II. Verh. d. Naturh.-Mediz. Vereins z. Heidelberg. N. F. Bd. XIII, Heft 1, 1914. — Walther, J., Das Gesetz der Wüstenbildung in Gegenwart und Vorzeit. Leipzig 1912. — Walther, J., Über Algonkische Sedimente. Zeitschr. d. D. Geol. Gesellsch., Bd. 61, Jahrg. 1909, Heft 3. S. 283—305. — Watts, W. W., Charnwood Forest: A Buried Triassic Landscape. Geographical Journal, June 1903.

40. Die Grundbedingungen des Klimas

Man bezeichnet die an einem Ort herrschenden oder gesetzmäßig wiederkehrenden meteorologischen Zustände als dessen Klima, und seitdem man die Abhängigkeit der rezenten Lebewelt von klimatischen Umständen kannte, hat man immer wieder auch das Klima der fossilen Vorzeit auf biologischem Wege zu ergründen versucht.

Es schien M. Neumayr leicht, aus der Verbreitung von Ammonitenschalen die Klimazonen der Jurazeit zu erschließen, es erschien unbedenklich, die altzeitlichen Einzelkorallen mit den Riffkorallen der Gegenwart zu vergleichen, und ein warmes Silurmeer bis nach Schweden zu konstruieren. Da die heutigen Elephanten fast unbehaart sind, aber das Mammuth ein dichtes braunes Haarkleid zeigte, nahm man an, daß es diesen „Winterpelz" nur im Eisgürtel erhalten haben könnte, und von da ab wurde jeder Fund von E. primigenius, selbst wenn es mit E. antiquus oder gar mit Hippopotamus zusammen eingebettet war, zum Beweis für die Verbreitung diluvialer Eisdecken. Ja selbst das Haarkleid eines Schädels von R. Merki (nach Mitteilungen von Pfizenmeyer befinden sich im Petersburger Museum drei ostsibirische Schädel dieser Art, deren Erhaltungszustand beweist, daß sie von denselben postdiluvialen Fundstellen wie E. tichorhinus stammen) wurde als „wollhaariges Nashorn" zu demselben Schluß verwertet.

Ganz ähnliche Abwege wurden eingeschlagen, seitdem man erkannt hatte, daß auch die Farbe der Lockerböden klimatisch bedingt sind. Die Verbreitung roter Tone in der heutigen Tiefsee veranlaßte manchen Geologen auch die roten Letten der Trias für Tiefseebildungen zu halten, und wenn man die Fälle der sich widersprechenden Hypothesen überschaut, die man zur paläoklimatischen Erklärung der diluvialen und permischen Eisdecken aufgestellt hat, dann sieht man überall monodynamische Gedankengänge, die das polydyname Wechselspiel der klimatischen Faktoren vernachlässigen.

Vor allem aber besteht ein seltsamer Gegensatz zwischen den Tatsachen, auf die man das heutige Klima zurückführt, und denjenigen geologischen Dokumenten, die man damit erklären will:

Unsere Klimakunde ist eine Wissenschaft, die sich vorwiegend mit dem unteren Grenzgebiet der Atmosphäre gegen die Oberkante der Lithosphäre und die Oberschicht der Hydrosphäre beschäftigt. Die große Mehrzahl der geologischen Tatsachen stammen aber aus dem unteren Grenzgebiet der Hydrosphäre gegen die wasserbedeckte Erdrinde. Der Boden des Meeres, dessen Klima so grundverschieden ist von dem seiner Oberschicht, dessen Lebewelt nach ganz anderen Gesetzen verteilt wird, wie die Drift an seiner Oberfläche, bildet unser wichtigstes Forschungsgebiet. Wie kann man so verschiedene Dinge ohne weiteres vergleichen?

Trotzdem in den letzten Jahren zahlreiche Bücher und Abhandlungen erschienen, die sich mit paläoklimatischen Problemen beschäftigen, so vermißt man doch darin, mit wenigen Ausnahmen, eine grundsätzliche Analyse der klimatischen Ursachen, und besonders eine kritische Betrachtung der klimatologisch verwertbaren geologisch-paläontologischen

Tatsachen. Bevor wir auf sie eingehen, müssen wir uns daher zunächst über die allgemeinen Ursachen des Klimas klar werden.

Das Klima unseres Planeten wird durch folgende Umstände bedingt:

1. die Eigenwärme der Erde,
2. die Eigenwärme der Sonne,
3. die Größe und Gestalt der Erdkugel,
4. die Tageslänge,
5. die Schiefe der Ekliptik,
6. die Lage der Drehungspole,
7. die Durchlässigkeit der Atmosphäre,
8. die Verteilung von Wasser und Land,
9. die Verbreitung der Biosphäre,
10. die Gestalt des Geländes.

Jeder dieser klimatischen Faktoren ist heute in geringen Grenzen veränderlich, jeder hat im Laufe der Erdgeschichte größere Veränderungen erfahren, und so müssen wir versuchen, die einzelnen Komponenten des Klimas ontologisch zu isolieren, wenn wir ihre Gesamtwirkung paläontologisch erforschen wollen.

1. Das Klima der Erde wurde während der astralen Urzeit, vorwiegend durch die Eigenwärme der Erde bestimmt. Solange die Erde als eine glühende Masse von unbestimmter Form im kalten Weltenraum schwebte, mußten die sich an ihrer Oberfläche vollziehenden Bewegungen und Veränderungen unabhängig von den Wärmestrahlen der Sonne, nur von dem thermischen Zustand der Erde, und der chemischen Zusammensetzung ihrer Masse bedingt sein.

Die radial nach außen strebenden Gasströme und die von der Kälte des Weltenraumes nach unten geleiteten Kompensationsbewegungen, die schlierige Beschaffenheit der glühenden Materie und die in ihr durch die Ausscheidung der Mineralien bedingten Veränderungen mußten, wenn man landläufigen Gedankengängen folgen will, endlich zur Bildung einzelner Krustenschollen und zuletzt zu einem Zusammenschluß derselben zur einheitlichen Lithosphäre führen. Man hat im Grundriß unserer heutigen Kontinente und ihrer Ränder solche primitiven Rindenstücke wiederfinden wollen, die an ihren leicht beweglichen „Näten" immer wieder verlagert werden konnten. Allein die Gleichartigkeit im Gewebe und Gefüge der kristallinen Gneisgebiete aller Kontinente spricht dafür, daß solche primitiven Zustände nicht erhalten werden konnten, weil sie durch eine gleichartige Metamorphose nachträglich völlig unkenntlich gemacht wurden.

Nirgends kennen wir Gesteine, deren Eigenschaften als die einer primitiven Erstarrungskruste der Erde gedeutet werden könnten, immer sehen wir in den tiefsten Aufschlüssen des kristallinen Grundgebirgs nur die sekundären Eigenschaften eines „Narbengewebes".

Indem sich die erkaltende Lithosphäre zwischen die ursprünglich ohne scharfe Grenze ineinander übergehende glühende Pyrosphäre und die heiße Uratmosphäre einschaltete, begann die Kälte des Weltenraumes die Gase der letzteren so stark abzukühlen, daß alle zu Flüssigkeiten kondensierbaren Verbindungen zum ältesten „Urmeer“ verwandelt wurden, und dieser Vorgang mußte mit solcher Heftigkeit und Beschleunigung geschehen, daß die Entstehung einer flüssigen Hydrosphäre sofort erfolgen mußte, als sich die Erdrinde schloß.

Da selbst eine dünne Lithosphäre die Wärme der noch glühenden Pyrosphäre vor rascherer weiterer Abkühlung schützte, war damit auch die Zeit abgeschlossen, wo die innere Erdwärme irgendwelchen bemerkbaren Einfluß auf die klimatischen Zustände der Erdoberfläche ausüben konnte, und von diesem Augenblick an wurde das irdische Klima nur noch von den Wärmestrahlen der Sonne bestimmt.

Um die Tragweite dieses Satzes zu verstehen, müssen wir uns klar machen, was mit der Erde geschehen müßte, sobald die Sonnenwärme verschwindet: es muß dann jede vorhandene Wassermenge, gleichviel ob sie den Pol oder den Äquator bedeckt, ob sie klein oder groß, flüssig oder dampfförmig ist, in Schnee und Eis verwandelt werden. Es kann nicht mehr regnen, auch nicht mehr schneien und hageln; es werden die Seen zufrieren, die Quellen sich in Eispolster und die Flüsse in Gletscher verwandeln, und alle diese Schneefelder und Eismassen werden nach den Senken gleiten, alle Vertiefungen erfüllen und alle Lockermassen der Erdrinde verfestigen. Das Meer wird sich mit Packeis bedecken und die Eisschollen werden über der konzentrierten Salzlösung weite schwimmende Eisfelder bilden, bis zuletzt sogar die eingedickte Salzlösung kristallinisch wird.

Eine großartige Rundhöckerlandschaft entsteht vom Äquator bis zum Pol. Nur da, wo sich vulkanische Kräfte ihren Weg durch die Eisdecke bahnen, wird sie lokal geschmolzen, und von hohen Aschenkegeln bedeckt werden, während sich die ausfließenden Lavamassen, in zahllose Blöcke zerspringend, als öde Trümmerfelder ausdehnen.

Die Frage, seit wann die Eigenwärme auf die Oberflächenerscheinungen der Erde keinen Einfluß mehr besitzt, läßt sich geologisch leicht entscheiden, denn da sich nur auf einer völlig erkalteten Erdrinde dauernde Schneedecken bilden und in Eisströme verwandeln können, sind die von solchen Eisfeldern erzeugten Grundmoränen mit gekritzten Geschieben ein zwingender Beweis für den thermischen Zustand an der Außenkante der Lithosphäre. Die aus dem Algonkium von Australien, China, Kapland, Canada und Lappland neuerdings in so weiter Verbreitung bekannt gewordenen glazialen Tillite beweisen völlig einwurfsfrei, daß schon vor dem Kambrium die Abkühlung der Erdkugel soweit gediehen war.

Wir müssen und können daher alle fossilführenden Ablagerungen der gesamten uns seit dem Algonkium bekannten Erdgeschichte als Bildungen betrachten, die nicht unter dem klimatischen Einfluß der Erdwärme entstanden sind.

2. Das unserer Erde jetzt eigentümliche thermische Außenklima ist also ausschließlich eine Wirkung der *Sonnenwärme*, und die tiefsten Wintertemperaturen an den Kältepolen (—65°) müßten auf der ganzen Erde herrschen, wenn nicht der ferne Zentralkörper seine Wärmestrahlen mit ungeheurer Verschwendung in den kalten Weltenraum sendete, von denen nur der $^1/_{2250000000}$ Teil unserem Planeten zugute kommt.

Ebenso klar aber ist es, daß eine allgemeine Vereisung der Erde, nicht etwa eine unserem Planeten fremde, durch besondere Ursachen zu erklärende Erscheinung ist, sondern dem *natürlichen Zustand entspricht, den die Erde bei Ausschaltung der Sonnenstrahlen erreichen muß.*

3. Die örtlichen klimatischen Erscheinungen werden sodann bestimmt durch die Größe und Gestalt der Erdkugel. Seitdem sich der Mond abtrennte, ist die *Masse* unseres Planeten nicht wesentlich verändert worden, aber die Größe des Erddurchmessers muß im Laufe der Erdgeschichte wesentlich verkleinert worden sein, denn zahlreiche tektonische Störungen, deren Bildungszeit chronologisch leicht festgelegt werden kann, haben eine dauernde Verkleinerung seines Volumens bedingt.

Die weitverbreitete Faltung und oft bis ins kleinste gehende Durchknetung der kristallinen Schiefer im präkambrischen Grundgebirge der alten Massive, welche im baltischen und kanadischen Schild, im Innern von Afrika, Ostindien, Australien und Südamerika ungeheure Flächen bedecken, und aus allgemeinen Gründen auch im Liegenden der ungestörten Tafelländer anzunehmen sind, führt zu dem Schluß, daß in den ältesten präkambrischen Perioden die Verkleinerung des Erdballs am stärksten war. Die am Schluß des Silur einsetzende kaledonische Faltung hat einen von Schottland bis zu den Lofoten reichenden Streifen gefaltet, aber ihre den Radius der Erde verkürzende Wirkung wird weit übertroffen durch den karbonischen Zusammenschub, der in Eurasien und Nordamerika, wie in Australien riesige Faltenfächer erzeugte. Damals müssen breite Flächen der Erdrinde auf ein Drittel ihrer früheren Ausdehnung zusammengeschoben worden sein und auch die Anlage der Tiefseebecken fällt, wie wir noch zeigen werden, in dieselbe Zeit. Die ganze Mittelzeit ist ruhiger verlaufen und erst im Tertiär erreicht wieder die Zusammenfaltung der Erdrinde ein hohes Ausmaß. Die jetzt von der Alpenkette eingenommene Fläche war vorher 200 km breiter. Aber wenn wir bedenken, daß zwischen den tertiären Gebirgsbogen weite ungestörte Tafelländer liegen, erscheint es nicht angezeigt, diese tertiäre

Verminderung des Erdhalbmessers, wie es J. Murray versuchte, als die wesentliche Ursache der tertiären Klimaänderung anzusprechen.

4. Die Tageslänge wird durch die Rotation der Erdachse bestimmt, und G. Darwin hat gezeigt, daß der Tag zu der Zeit, als sich der Mond von der Erde löste, nur etwa 6 Stunden lang gewesen sei. Das würde bedeuten, daß in früheren Perioden auch Ebbe und Flut viermal so rasch einander abgelöst haben und man könnte vermuten, daß diese gesteigerte Kraftwirkung in der Küstenzone älterer Meere zum Ausdruck käme. Ich habe daraufhin die litoralen Erscheinungen des kambrischen Meeres von Böhmen und Skandinavien eingehend untersucht, aber keine Spuren besonders intensiver Abrasionserscheinungen beobachtet. Wie ein schwach gewellter Teppich legt sich der Eophytonsandstein auf die mit fußbreiten Wellenfurchen bedeckte und mit Windkantern gespickte Oberkante der algonkischen Sparagmitformation, und auch in Mittelböhmen liegen die Paradoxidesschiefer ohne scharfe Diskordanz auf grauen Sandsteinen und Konglomeraten.

Da nun die Abplattung der Erde der Ausdruck der bestehenden Rotationsgeschwindigkeit ist, kann man auf diesem Wege auch wahrscheinlich machen, daß eine stärkere Abplattung und damit eine andere Verteilung der Klimagürtel für die geologisch unterscheidbaren Perioden der Erdgeschichte nicht angenommen werden darf.

5. Die Tageslänge wird in eigentümlicher Weise durch die Schiefe der Ekliptik beeinflußt. Sie bedingt es, daß die Polargebiete und ihre Grenzzone in halbjährigem Wechsel einen überaus langen Tag und eine ebenso lange Nacht haben. Dadurch wird aber nicht allein die Temperatur, sondern auch die biologisch so wichtige Lichtmenge bestimmt.

Man kann eine schiefe Stellung der Erdachse geologisch bis zur Permzeit zurückverfolgen, denn die Tausende von Jahresringen, die das ältere, wie das jüngere Steinsalz in regelmäßigen Abständen gliedern, können nur auf jene astronomische Tatsache zurückgeführt werden. Es wäre zu prüfen, ob nicht manche ähnliche regelmäßige Wechsellagerungen in älteren Gesteinen (devonischer Knotenkalk, silurischer Kieselschiefer) dieselben Ursachen gehabt haben.

Solange die Erdachse schief zur Ebene der Sonnenbahn steht, ist aber das Polargebiet in halbjährlichem Wechsel gegen die Wärme und Lichtstrahlen der Sonne abgeblendet. Die Polarnacht als erdgeschichtliche Erscheinung hatte zunächst zur Folge, daß die Abkühlung der einst glühenden Erdkugel an den Polen begann und die Urlithosphäre sich von hier gegen den Äquator vorschob.

Aber auch in allen späteren Perioden mußten die Polargebiete den anderen Klimazonen gegenüber ihre Eigenart wahren. Oft hat man die klimatische Entwicklung der Tertiärzeit so gedeutet, als wenn im Unter-

tertiär zunächst ein gleichmäßig warmes Klima vom Äquator bis zum Pol geherrscht habe, dann aber durch allmähliche Abkühlung des letzteren die gemäßigte und kalte Zone entstanden sei, in der sich zum Schluß die diluvialen Eisdecken ausbreiteten und, alles Leben vernichtend, nach den mittleren Breiten vorschritten. So sollte sich von den Polen, als den „Heimatgebieten des Lebens", die neue Flora und Fauna über die ganze Erdkugel verbreitet und diese sogenannte „Polflucht" alle tiergeographischen Zustände der Gegenwart veranlaßt haben.

Es wird unsere spätere Aufgabe sein, diesen Vorgang zu behandeln und zu zeigen, daß die Anlage und Verbreitung der polaren Eiskappen durch ganz andere Umstände bedingt werden.

Die Polargebiete sind nicht allein durch sehr niedrige, der Temperatur des Weltenraumes sich nähernde Temperatur ausgezeichnet, sondern ebenso durch einen halbjährlichen Lichtmangel, der durch das farbenglühende Feuerwerk der Nordlichter ebensowenig ausgeglichen wird, wie das Dunkel der Tiefsee durch die phosphoreszierenden Lichter der Tiefseetiere. Autotrophes Leben ist im Polargebiet nur während des Sommerhalbjahrs möglich. Manche Pflanzen zeigen aber so merkwürdige Beziehungen zu dem tiefgreifenden Wechsel der polaren Jahreszeiten, daß man z. B. die Organisation der Glossopteriden mit den rezenten Tundrapflanzen vergleichen und auch den Aufbau vieler tannenförmig wachsender Koniferen als Anpassung an eine längere Schneeperiode auffassen darf.

6. Von allen Klimabedingungen ist die Lage der Erdachse innerhalb der Erdkugel und die mit ihren Schwankungen verknüpfte Änderung der geographischen Breite am häufigsten besprochen worden. Während namhafte Astrophysiker größere Änderungen der Polhöhe aus statischen Gründen ablehnen, drängen zahlreiche geologische Tatsachen grundsätzlich zur Annahme solcher Vorgänge.

Die Wirkung einer Polverschiebung besteht zunächst darin, daß alle Klimagürtel ihre Lage zur Erdachse harmonisch ändern. Aber bei der Annahme solcher Verlagerungen muß man zunächst im Auge behalten, daß sie sich in derselben (wenn auch geographisch entgegengesetzten) Weise auf beiden Halbkugeln äußern und nachweisen lassen müssen.

Besonders wichtig erscheint es, daß der Pol nicht springen oder wie ein Vulkan unvermittelt irgendwo auftauchen kann, sondern daß jede Änderung der Erdachse einen langsamen Weg beschreibt, dessen Schritte geologisch-stratigraphisch genau verfolgt werden müssen. Es genügt nicht, auf einer Karte die permische Gletscherausbreitung irgendeines Ortes als wahrscheinlichen Pols auszurechnen, sondern man muß ihn dann auch für die vorhergehende Oberkarbonzeit und die folgende Untertrias schrittweise aufzufinden suchen.

Wir wollen, um ein einfaches Beispiel zu wählen, zunächst erwägen, welche Folgen ein Wandern des Nordpols gegen den Pazifik auf dem 170. Längengrade haben würde:

Während Grönland und Spitzbergen eisfrei werden und die warmen Gewässer des Golfstroms hier rasch eine wesentliche Erwärmung des Klimas hervorrufen würden, so daß Nadelhölzer und Laubbäumen, vielleicht auch winterharte Gewächse südlicher Breite gedeihen, würde sich Alaska und Ostsibirien mit geschlossenen Eisdecken überziehen. Aber beim Weiterschreiten des Pols glitten diese von der Flachsee bei Kamschatka nach dem tiefen Meer, und wenn die Aleuten abgehobelt wären, müßte ein Zerfall der gewaltigen Eismauer über dem tiefen Behringsmeere eintreten. Wäre der Pol um 40 Grad gewandert, dann existierten vielleicht in seinem Randgebiet noch einige Gletscher auf Kamschatka und den Küstengebirgen von Britisch-Columbien — aber die große Vereisung wäre vorbei und ohne bleibende Spuren zu hinterlassen würde der Polarschnee auf eine weite eisige Wasserfläche fallen und darin zergehen.

Ganz anders würde derselbe Vorgang verlaufen, wenn sich der Pol auf dem 80. Längengrad bewegte. Denn er brauchte hier nur bis zum 50.° vorzudringen, um eine gewaltige Eiskappe zu bilden, die zwar den Aralsee ebenso wie den Baikalsee ausfüllte, aber nirgends die Meeresküste erreichte. Die mächtigen Alluvionen des nördlichen Tieflandes, der tief verwitterte Schutt Sibiriens, die Sandwüsten Turkestans und die Lößdecken der Mongolei würden in die Grundmoränen aufgenommen und radial auseinander bewegt, das Wechselspiel der klimatischen Faktoren erzeugte Schwankungen des Eisrandes und deutliche Spuren interglazialer Abschmelzzeiten, aber alles Eis schmölze zu Flußwasser und bis die Flüsse den fernen indischen Ozean erreicht haben würden, wären sie erwärmt worden und nirgends dränge kaltes Oberflächenwasser zur Tiefsee hinab.

Mag also eine solche polare Eismasse, wie im heutigen Nordpolarkreis, auf einem vom Meer zerschnittenen Inselland, oder auf dem einheitlichen Schild der Antarktis entstanden sein — so dringt doch ihr Außenrand in ein humides Nachbargebiet hinein, das, reichbewachsen und besiedelt, sich gegen das bodenfremde Eis zur Wehr zu setzen bestrebt ist. Ebenso wie sich der Küstenwald den heranschreitenden Sandmassen des Strandes entgegenstemmt, so kämpft die Flora des vom Eis bedrohten Nachbarlandes gegen Schnee und Kälte, bis ihre letzte Kraft erlahmt.

Wenn auch von physikalischer Seite sehr gewichtige Gründe gegen das Auftreten größerer Polschwankungen geltend gemacht worden, so stehen ihnen triftige, auf anderem Wege völlig unerklärbare geologische Tatsachen gegenüber, daß wir mit der Möglichkeit von Polverlagerungen rechnen müssen.

7. Da die Wärmestrahlen der Sonne, nachdem sie den kalten Weltraum und die irdische Lufthülle durcheilt haben, diese von unten her erwärmen, spielt auch die Wärmedurchlässigkeit der Atmosphäre eine gewisse Rolle bei der Verteilung der Sonnenwärme.

Arrhenius und Frech haben wahrscheinlich zu machen gesucht, daß eine geringe Veränderung im CO_2-Gehalt der Atmosphäre ausreiche, um eine wesentliche Umgestaltung des irdischen Klimas zu bewirken. Physiker und Geologen haben aber mit gewichtigen Gründen gezeigt, daß das paläothermale Rätsel auf diesem Wege nicht gelöst werden könne.

Denn nach Milankowitsch würde selbst das vollständige Verschwinden der Kohlensäure aus der Atmosphäre nur ein allgemeines Sinken der Temperatur um 4 Grad verursachen.

Wenn man versucht, die permische Schneezeit als eine Folge der CO_2-Verarmung der Atmosphäre durch die Bildung der oberkarbonen Steinkohle zu erklären, vernachlässigt man die ausgedehnten unterpermischen Vulkanausbrüche, in deren Gefolge zweifellos riesige Mengen von CO_2 wieder der Lufthülle zugeführt wurden, und wenn man die diluviale Schneezeit mit der eozänen und miozänen Braunkohle in ursächliche Beziehung zu bringen sucht, übersieht man, daß sich dazwischen die lange Pliozänzeit einschaltet, in welcher keine Spuren einer größeren Vereisung erkennbar sind. Gerade die Auswertung der Theorie von Arrhenius-Frech hat klar gezeigt, daß sich die geologischen Tatsachen nicht in die engen Fesseln eines monodynamischen Prinzips einzwängen lassen.

8. Die Bedeutung von Wasserflächen für das Klima des von ihnen begrenzten Festlandes ist so bekannt und so oft besprochen, daß wir hier nur an den Gegensatz von „ozeanischen“ und „kontinentalen“ Klimas zu erinnern brauchen. Das Meeresklima äußert sich auf Inseln und Archipeln ebenso wie an einem stark zergliederten Festland in dem Zurücktreten der klimatischen Gegensätze. Die Amplitude der Lufttemperatur ist klein, Frost und Hitze sind weder lithologisch noch biologisch besonders wirksam, die Verwitterung nimmt milde Formen an, die Entfaltung einer individuenreichen Flora und Fauna wird begünstigt, aber Auslese und Spezialisierung sind gering. Wir nennen ein solches Klima isonom.

Ganz anders bildet sich das Klima im Innern eines größeren geschlossenen Festlandes aus. Der Gegensatz der Jahreszeit wird schroff, Einwitterung und Auswitterung wirken wechselweise mit großer Stärke; die abtragenden Kräfte werden gesteigert, das Leben wird bedroht und nur besondere Anpassungserscheinungen erlauben Pflanzen und Tieren die auslesenden Wirkungen eines solchen kontrastreichen antinomen Klimas zu überdauern.

Geologisch werden wir, wenn ein vorher landfestes Gebiet während einer Transgression vom Ozean überschritten wird, leicht die Spuren eines isonomen Inselklimas finden, weil das unebene Gelände zunächst die neuentstehende Meeresfläche zergliedert. Ebenso kann bei einer Regression, wenn ehemaliger Meeresgrund durch Rückzug des Ozeans landfest wird, ein isonomes Klima weiterherrschen. Aber wenn ein Meer durch Verdampfung verschwindet, denn dann können wir im Hangenden der neugebildeten Niederschläge die Anzeichen eines kontinentalen antinomen Klimas zu finden erwarten.

9. Für die geologischen Wirkungen des solaren Klimas hat endlich die Entstehung und Verbreitung der Biosphäre eine wichtige Rolle gespielt. Sobald ein Land von den gesellig wachsenden Decken des Lebens überzogen und den direkten Einflüssen der Sonnenwärme entzogen wird, fallen zunächst alle physikalischen Verwitterungsvorgänge fort. Auch die Abtragung der Verwitterungsdecken wird verlangsamt oder ganz eingestellt, und kumulative Vorgänge schreiten im Schutze dieser Vegetationsdecke bis in große Tiefe hinab.

Daher müssen wir die Wirkungen der Klimazonen in den präkarbonen Urwüsten, als noch die meisten Lebewesen unter dem Wasserspiegel lebten, nach ganz anderen Gesichtspunkten beurteilen, als alle auf die Besiedelung des Festlandes folgenden Perioden. Damals war nicht nur das Äquatorialgebiet, sondern auch die gemäßigte Zone und die Polarregion eine leblose nackte Wüste, und während hier die Schneeniederschläge zu großen Eisdecken wuchsen, versiegten dort im zerklüfteten Felsboden selbst die gewaltigsten Regengüsse.

Wenn wir die gröberen Trümmergesteine der ältesten Perioden (Torridonsandstein, Sparagmit, devonische, karbonische und permische Konglomerate, Sandsteine und Arkosen) mustern, dann fällt uns zuerst ihre hochrote, von lateritischen Verwitterungsdecken herrührende Farbe auf. Wir sehen die in ungeheurer Mächtigkeit innerhalb enggeschlossener Felsenbecken, oft mit steiler Böschung eingelagerten diagonal geschichteten Sandsteine, deren scharfeckige Körner große Windkanter abwetzten. Sie werden von dünnen roten Lettenschichten unterbrochen, die in vergänglichen Wasserlachen abgelagert worden sind. Mächtige Schuttströme mit wenig sortierten scharfeckigen oder entkanteten Blöcken sprechen für die Wirkung gewaltiger Ruckregen. Stürmische Wasserfluten haben sich über schwarze Lavafelsen ergossen und Sandstürme haben ihre Spalten mit rotem Sand erfüllt. Nur selten begegnen uns dunkelgefärbte Tonschichten, die auf eine kümmerliche Algenflora schließen lassen. Besonders interessante Aufschlüsse versprechen die Ränder der damals gebildeten Eisdecken, wo weit verbreitete Blocklehme dem algonkischen Sediment eingeschaltet sind.

Die Umbildung der mit leuchtendroten Feldspatstückchen durchsetzten, altzeitlichen Buntwacken in die Grauwacken, welche in Deutschland besonders während der Unterkarbonzeit gebildet wurden, bietet ebenfalls noch manches wichtige paläoklimatische Problem.

Nachdem eine ältere Wasserflora die erdgeschichtlich so wichtige, von der Bildung der oberkarbonischen Kohlenlager begleitete Wanderung auf das Festland beendet hatte, waren alle Faktoren vorhanden, die das Klima von da ab bis zur Gegenwart bestimmten.

Während die bisher besprochenen allgemeinen Umstände eine maßgebende Rolle bei der Entstehung und Ausdehnung der Klimagürtel und großeren Klimagebiete spielen, werden die oft inmitten eines ganz anders gearteten Klimas auftretenden Klimainseln wesentlich durch topographische Ursachen bedingt.

Dieselben Ursachen, die heute flache Niederungen in Höhengebiete verwandeln: tektonische Faltung und vulkanische Aufschüttung haben oftmals das vorzeitliche Gelände umgestaltet und inmitten weiter Ebenen von einheitlichem Charakter klimatische Sondergebiete erzeugt, die auf dem trockenen Land, wie auch unter dem Meeresspiegel eine ganz eigenartige Lebewelt und besondere lithologische Erscheinungen bedingt. Man denke an den Kegel des Kilimandjaro, der in die weite ostafrikanische Steppe eine nivale Region mit allen Eigenheiten eines fremden Klimas einschaltet oder die gewaltige Kette des Himalaja, die sich mit ihrem eigenartigen Klima schroff und unvermittelt über das bengalische Sumpfland erhebt. Kein Wunder, daß die in einem solchen Grenzgebiet eingebettete Sivalikfauna biologisch so widerspruchsvolle Eigenschaften zeigt und selbst der stratigraphischen Gliederung so große Schwierigkeiten bereitet hat.

Genau ebenso sind untermeerische Rücken von einer ganz eigenartigen Fauna bewohnt, und die hier gebildeten Ablagerungen erscheinen, wie ich dies an der Taubenbank bei Neapel eingehend untersuchen konnte, als fremdartige Gebilde in der weiten Schlammregion.

Mag eine solche Klimainsel tektonisch oder vulkanisch entstanden sein — stets wird ihr Aufbau, selbst wenn sie später bis zur Wurzel denudiert wurde, geologisch zu erkennen sein. An den Rändern der kaledonischen Falten, wie zwischen den Grünsteinen devonischer Vulkanreste wird man daher ebenso die Wirkungen eines klimatischen Sondergebietes erwarten können, wie an den Flanken des permischen Porphyrgebietes von Botzen oder an den Abhängen der tertiären Uralpen.

Viele Geologen stellen sich vor, daß Meeresbecken durch untermeerische Untiefen, „Barren", oder ähnliche Mauern in faunistisch getrennte Lebensbezirke zerlegt werden, ähnlich wie etwa die Alpen die germanische Flora von der lombardischen scheiden. Aber diese weitverbreitete Annahme ist irrig. Wohl kann eine über weite Ebenen

ragende Bergkette auch die Faunen scheiden, aber eine Kette von Untiefen bildet im Gegenteil eine Brücke für die marinen Lebensbezirke. Denn die meroplanktonischen Larven finden dort in der ihnen zusagenden Wassertiefe geeignete Siedelungsplätze. Je gleichartiger der Meeresboden sich über größere Meerestiefen erstreckt, desto trennender wirkt seine Fläche auf die Fauna der Flachsee an beiden Ufern, je unebener sein Grund, je zahlreicher die eingestreuten Untiefen, desto leichter können die Bewohner ausgetauscht und verbreitet werden.

Obwohl die verschiedenartigen bisher aufgezählten Bedingungen des Klimas für die Verbreitung der Organismen so bestimmend sind, daß man jede einzelne Ursache bei der Erklärung der Zusammensetzung einer fossilen Fauna oder der besonderen Ausbildung einzelner Organe berücksichtigen muß, so werden sie alle doch an Bedeutung übertroffen durch die primäre Ursache aller Klimaumstände: die Eigenwärme der Sonne. Die Sonnenstrahlen haben seit dem Algonkium durch alle eigentlichen geologisch erforschbaren Perioden hindurch die lithologischen und biologischen Vorgänge verursacht, deren Wirkungen als aufgelagerte Gesteine und als Fossilien der Gegenstand paläontologischer Forschung sind. Das Leben wäre längst auf der erkalteten Erde erstorben, alle geologischen Vorgänge der Verwitterung, Abtragung, Verfrachtung, Korrasion und Auflagerung wären zur Ruhe gekommen, wenn nicht die Strahlen des fernen Fixsterns Wärme und Licht auf die Erde brächten. Alle allgemeinen Veränderungen des irdischen Klimas können daher ihre letzte Ursache nur im Wärmehaushalt und der Strahlungsintensität der Sonne haben.

Zwar ist eine merkbare Änderung der Sonnenstrahlung im Laufe der letzten Jahrzehnte nicht nachzuweisen, und selbst für die letzten Jahrtausende muß man im allgemeinen die Solarkonstante der Astrophysiker zugeben. Nach meinen eigenen Studien in Ägypten und nach Mitteilungen von A. Hilprecht über das Klima Mesopotamiens zur Zeit der Sumerer hat sich auch das Wüstenklima dieser Länder im Laufe der letzten 5000 Jahre nicht geändert.

Aber wer die Vorgänge beim Beginn und Ende der diluvialen Schneezeit genau verfolgt, der erkennt darin vornehmlich die Wirkungen einer Veränderung der Sonnenstrahlung. Die meisten Erkärungen der „Schneezeiten" berücksichtigen nicht, daß es sich dabei im wesentlichen um atmosphärische Vorgänge handelt; und zwar ist die wichtigste Wirkung der Sonnenwärme auf die irdische Hydrosphäre der Kreislauf der Vadose, der sich in drei verschiedenen Formen abspielt:

1. Der pluviale Kreislauf führt vom Weltmeer durch die Wasser- und Schneewolken bis zu den wärmeren Gebieten der Erdkugel, wo sich der fallende Regen in immer wasserreicher werdenden Flüssen sammelt, die endlich wieder das Meer erreichen. Die auf diesem Wege durch

Verdunstung verdampfte Wassermenge ist geringer als die während derselben Zeit fallenden Niederschläge.

2. Der aride Kreislauf beginnt ebenfalls im Weltmeer, aber den Niederschlägen werden von der trockenen Wüstenluft durch Verdunstung so große Wassermengen wieder entzogen, daß der übrigbleibende Rest nicht bis zum Meeresufer gelangt, sondern in versalzenden Endseen oder auf freier Wüstenfläche verschwindet.

3. Der nivale Kreislauf wurzelt in den Schneewolken, die in höheren Breiten und höheren Luftschichten auf die Erde fallen, sich hier zu mächtigen Firnfeldern anhäufen und in gleitendes Eis verwandelt, das aus der Schneeregion der Polargebiete als Eisberge wieder im Meer verschwindet, oder auf festem Land als Gletschereis so weit in die benachbarte Klimazonen hineindringt, bis es zu abfließenden oder abflußlosen Schmelzflüssen wird.

Wenn man das Wesen und die allgemeinen klimatischen Bedingungen dieser drei Kreisläufe vergleichend betrachtet, so wird ihre Eigenart vorwiegend durch die Sonnenwärme, sowie das Wechselspiel zwischen Niederschlag und Verdunstung bestimmt. Sie regeln nicht nur die Form, sondern auch die Dauer des Kreislaufes, und lassen den kurzen Kreislauf der Wüste von dem nur in langen Jahrhunderten sich abspielenden Kreislauf der Gletschergebiete unterscheiden.

Die Abhängigkeit dieser Vorgänge von der Intensität der Sonnenstrahlung ist so augenfällig, daß wir kein Bedenken tragen, auch solche Perioden der Erdgeschichte, in denen der aride oder der nivale Kreislauf eine größere regionale Ausdehnung besessen haben muß, auf eine unperiodische Veränderung der Sonnenstrahlen zurückzuführen.

Eine Vermehrung der Sonnenstrahlung wird die Verdunstung des Weltmeers steigern und die Menge der über den Polargebieten kondensierten Wolken vermehren; die hierdurch entstehenden größeren Schneefälle werden die Firnfelder verbreitern und große Eisdecken werden daraus entstehen. Gleichzeitig wird sich in mittleren Breiten die Zone der Trockengebiete vergrößern, und so wird der Gegensatz zwischen dem heißen regenreichen Tropengebiet und den schnee- und eisbedeckten Polarregionen immer schärfer werden müssen. Es werden sich also Klimaerscheinungen herausbilden, die wir antinom genannt haben.

Ganz andere Wirkungen wird eine Verminderung der Sonnenstrahlung haben. Die Verdunstung auf der Wasserfläche des Meeres und den Festländern der gemäßigten Zonen wird herabgesetzt, die den Polargebieten zugeführten Wasserdämpfe werden vermindert, die dortigen Schneefälle geringer, die ariden Erscheinungen der Wüstengürtel treten zurück, die Auswitterung der salzhaltigen Lithose wird vermindert, und besonders die Organismen des Festlandes finden überall dieselben günstigen

Lebensbedingungen. Die Flora der mittleren Breiten wandert gegen die Pole, die Sumpfpflanzen des Tropenlandes dehnen ihr Wohngebiet aus und selbst die Jahreszeiten nehmen mildere Formen an. Ein isonomes Klima begünstigt also auch weite Wanderungen der Fauna und selbst hohe Gebirge bilden kein Hindernis für die Verbreitung der Lebewelt.

Literatur

Arrhenius, S., On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. Philosophical Magazine for April 1896, S. 237. — Chamberlain, Thomas C., The Influence of Great Epochs of Limestone Formation upon the Constitution of the Atmosphere. Journ. of Geol., 1898, Bd. VI, S. 60 u. 609. — Crema, C., Le bauxiti dell' Istria e della Dalmazia. La Miniera italiana. Roma 1920. — Darwin, George H., On the Influence of Geological Changes on the Earths Axis of Rotation. Proc. of the Roy. Soc. Bd. XXV, S. 328. Nature, Bd. XV, 1876, S. 360. — David, T. W. Edgeworth, Conditions of Climate at Different Geological Epochs. Congr. Geol. Int. 1907, S. 437. — Dubois, E., The Climates of the Geological Past. London 1895. — Fliegel, G., Über tiefgründige chemische Verwitterung und subaerische Abtragung. Zeitschr. d. D. Geol. Ges, Bd. 65, Jahrg. 1913, Monatsbr. Nr. 7, Berlin, S. 387. — Fuller, Myron L., Total Amount of Free Water in the Earth's Crust. Water Supply and Irr. Pap. Washington 1906. — Gothan, W., Die Frage der Klimadifferenzierung im Jura und in der Kreideformation im Lichte paläobotanischer Tatsachen. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1908, Bd. XXIX, S. 220—242. — J. W. Gregory, F. R. S., Climatic Variations their Extent and Causes. C. R. Geol. Congress. Mexico 1906. — Harrassowitz (Meyer), H. L. F., Klimazonen der Verwitterung und ihre Bedeutung für die jüngste geologische Geschichte Deutschlands. Geol. Rundschau, Bd. VII, Heft 5/6, 1916, S. 193. — Die Klimate und ihre geologische Bedeutung. Ber. d. Oberhess. Gesellsch. f. Natur- u. Heilk. zu Gießen, N. F. Naturw. Abteil, Bd. 7, 1916—1919, S. 212—232. — Hettner, A., Das Klima Europas. Geogr. Zeitschr. Bd. 10, Heft 7, Leipzig. — Hettner, A., Die Klimate der Erde. Geogr. Zeitschr. Bd. 17, Heft 9—12, Leipzig 1911, S. 425, 482, 545, 618, 675. — Humphreys, W. J., Volcanic Dust and other factors in the Production of Climatic Changes, and their possible Relation to Ice Ages. Bull. of the Mount Weath. Obs. B. VI, S. I, 1913 — Jacobitti, E., Mobilita dell' asse Terrestre. Torino 1912. — Köppen, W., Über Änderungen der geographischen Breiten und des Klimas in geologischer Zeit. Geografiska Annaler 1920, Heft 4, S. 285. — Köppen, W., Klimaformel und reduzierte Regenmenge. Meteorolog. Zeitschr. Heft 1/2, Braunschweig 1919. — Köppen W., Zur Paläoklimatologie. Meteorolog. Zeitschr. Heft 4, Braunschweig 1921, S. 97—101. — Manson, Marsden, The Laws of Climate Evolution. Amer. Geol. Bd. XXXIII, 1904, S. 44. — Milankovitch, M., Théorie Mathématique des Phenomènes Thermiques produits par la Radiation Solaire. Paris 1920. — Neumayr, Melchior, Über klimatische Zonen während der Jura- u. Kreidezeit. Denkschr. d. Akad. d. Wissensch. Bd. XLVII, 1883, S. 277. — Philippi, E., Über einige paläoklimatische Probleme. N. Jahrb. f. M., G. u. Pal., Beil.-Bd. XXIX, 1910, S. 106—179. — Philippi, E., Vorlesungen herausgegeben von O. Marschall. Jena 1912. — Semper, M., Das paläothermale Problem, speziell die klimatischen Verhältnisse des Eozäns in Europa und im Polargebiet. Inaugural-Dissertation München 1896. — Schuchert, Ch., Climates of Geological Time. Carnegie Institution of Washington, Publication Nr. 192, S. 263. — Schuchert, Ch, Climates of the Past. Yale Review, July 1913, New Haven, Conn. — Thoulet, J., De l'Influence du Vent-dans le Remplissage du Lit de l'Océan, 1908, S. 1184. — Zimmermann, E., Über Buntfärbung von Gesteinen. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. Berlin 1915, S. 164.

41. Das Klima des Festlandes

Das Klima des festen Landes, aber nur dieses, ist polar orientiert, d. h. von örtlichen geographischen Ausnahmen abgesehen, werden die verschiedenen Klimagebiete durch die Lage der Erdachse und die darauf senkrecht stehenden Breitengrade bestimmt. Je größere und geschlossenere Flächen der Lithosphäre ohne Wasserbedeckung zutage treten, desto stärker prägen sich die zonar geordneten Klimagebiete aus — je zerteilter eine Landfläche ist, desto größer wird der ausgleichende vermittelnde Einfluß des Wassers.

Es ist wiederholt die Frage aufgeworfen worden, ob das Weltmeer früher größer oder tiefer gewesen sei, als in späteren Perioden, doch läbt sie sich nicht einwandfrei beantworten. Biologische Gründe, die wir später noch ausführen werden, sprechen dafür, daß die heutigen Tiefseebecken erst seit der Triaszeit existieren und geologische Tatsachen lassen darauf schließen, daß sich besonders die tieferen Senken erst während der Tertiärzeit vergrößert und eingetieft haben.

Die durch die Bohrung auf Funafuti nachgewiesene große Mächtigkeit gewisser Korallenriffkalke ist nur verständlich, wenn die betreffende Gegend um mehrere hundert Meter gesenkt worden ist. Auch die bekannten Meeresrinnen, die als „ozeanische Gräben" bezeichnet werden, sprechen für eine lebhafte Übertiefung der einzelnen Meeresböden. Daß hierdurch der allgemeine Meeresspiegel gesenkt und an vielen Küsten Rückzugsbewegungen eingetreten sein müssen, welche neue Flächen trockenen Landes schufen, ist wahrscheinlich. Auch jede langandauernde Schneezeit verlagert so große Mengen von Meerwasser für Jahrtausende auf das Festland, daß hierdurch ein allgemeines Sinken des Meeresspiegels bedingt wird.

Aber abgesehen von diesen Veränderungen des Meeresraumes läßt sich zeigen, daß die Menge des vadosen Wassers beständig zugenommen hat. E. Suess hat zuerst den Gedanken ausgesprochen, daß jede vulkanische Eruption große Mengen von eruptosem Wasser durch die Erdrinde bewegt und nannte dies die Entgasung des Erdkerns. Dieser Vermehrung der flüssigen Vadose steht freilich eine beständige Bindung von flüssigem Wasser durch chemische Verwitterung und Hydratisierung gegenüber. Bei der Bildung von Ton, Kaolin und ähnlichen Gesteinen werden große Mengen von Wasser dem flüssigen Kreislauf entzogen und für lange Perioden verfestigt. Es gibt kein Mittel um abzuwägen, ob die Entgasung des Magmas größere Mengen von Vadose freimacht, als die chemische Verwitterung verbraucht.

Jedenfalls können sich glaziale Geschiebelehme nur auf dem Festland bilden, Sanddünen nur auf trockenem Lande wandern, nur hier Windkanter geschliffen werden. Alle diese, schon im Algonkium

bekannten Erscheinungen zeigen, daß seit jener uralten Zeit schon Festländer aus dem Weltmeer herausragten.

Die oft zu beobachtende Überlagerung festländischer Abtragungsgebiete durch fossilreiche Meeresschichten, ebenso wie die Zufüllung und Trockenlegung ehemaligen Meeresbodens spricht ebenso deutlich, wie die Wanderung ganzer Meeresfaunen dafür, daß das Weltmeer beständig seine Grenzen verschoben hat. Bald sehen wir durch Transgression vorheriges Festland überflutet, bald durch Regression ein Meer verschwinden. Aber trotz aller dieser Veränderungen seiner Grenzen blühte in dem unermeßlichen Ozean fortdauernd die marine Lebewelt und ihre sich beständig wandelnden Arten lassen die chronologische Aufeinanderfolge dieser erdgeschichtlichen Vorgänge leicht verfolgen.

So sind also dieselben Flächen der Erdkugel bald Meeresgrund, bald Festland gewesen und es dürfte kein noch so altes Massiv kristalliner Schiefer den Anspruch erheben können, dauernd trocken gelegen zu haben. Ebensowenig können wir aber von irgend einem Stück der Erdoberfläche behaupten, daß es ununterbrochen Meeresgrund gewesen sei. Denn zahlreiche paläontologische Tatsachen drängen zu der Annahme breiter Landbrücken von einem Kontinent zum andern.

Nur einen Schluß können wir beim Vergleich der Meeres- mit der Landfauna der Vorzeit ziehen: Seit dem Untersilur muß das Weltmeer beständig eine einheitliche Fläche gewesen sein, in der Weise, daß ein ununterbrochener Austauch aller Formenkreise der Wasserwelt erfolgen konnte. Denn alle heutigen Tiergruppen wurzeln in der untersilurischen Wasserfauna, und im Laufe der langen Zeiträume, durch welche wir das organische Leben des Meeres seither verfolgen können, findet sich nirgends eine grundsätzliche Unterbrechung der phyletischen Linie. Eine solche aber müßte man finden, wenn auch nur einmal das Weltmeer durch festländische Grenzen in zwei oder mehr völlig getrennte Becken zerlegt worden wäre. Die Existenz zahlreicher mariner Dauerfossilien (Lingula, Discina, Rhynchonella usw.) beweist vielmehr ebenso, wie die sie umgebende einheitliche Salzlösung, die phyletische Einheit der Wasserwelt.

Ein völlig verschiedenes Bild zeigt uns die Entwicklung der Landwelt. Denn aus dem gemeinsamen Weltmeer schlossen sich bald hier, bald dort neuauftauchende Inselgruppen zu großen kontinentalen Festlandsmassen zusammen und auf ihnen entstanden immer wieder aus den jeweils zufällig dort lebenden Stammformen neue vielgestaltige Formenkreise. Sie nutzten alle Möglichkeiten der Lebensweise aus, erwarben zahlreiche Anpassungsorgane und lebten, in anatomisch zwar grundverschiedenen, aber äußerlich überaus ähnlichen Formen so lange, bis mit dem Versinken ihrer Heimat unter den Meeresspiegel auch ihr

Stammbaum dem Tode verfiel, oder sich in einzelne insulare Relikte rettete. So besiedelten im Devon die vielgestaltigen Panzerganoiden die Wüsten des alten Nordlandes, dann traten die Stegocephalen als Herrscher des Landes auf, um später von den Reptilien abgelöst zu werden, bis endlich im Tertiär die Welt der Beutler mit den plazentalen Säugetieren den ungleichen Kampf aufnahm, aus dem sie sich nur durch geographische Isolierung auf dem australischen Kontinent bis in die Gegenwart retten konnte.

In jeder dieser Gruppe entwickelten sich „Kriechtiere" mit zurückgebildeten Extremitäten (z. B. Dolichosoma, Coecilia, Anguis, Coluber). Daneben schritten viele Formen mit vier gleichlangen Beinen, andere benutzen ihre Hinterbeine zum Springen (Dinosaurier, Beutler, Nagetiere) und ihre Vorderextremität berührte nicht mehr den Boden, während endlich bei den Pterosauriern, Vögeln und Fledermäusen der Vorderarm zum Flugorgan umgebildet wurde. Ganz parallele Reihen der Lebensweise sowie der äußeren Organbildung zeigen die Beutler und die plazentalen Säugetiere. Gebiß und Kiefergelenk, Halslänge und Körperumriß werden zum Verwechseln ähnlich, und doch ist die polyphyletische Entstehung dieser analogen Formen jedem vergleichend anatomisch Denkenden selbstverständlich.

Selbst im Stamme der Insekten begegnen wir derselben analogen Formenausbildung, zuerst im Karbon, und dann wieder im Tertiär. Die Untersuchungen von Handlirsch haben gezeigt, daß die Protorthoptera nicht als die Vorfahren der ähnlichen Orthoptera, die Protodonata nicht als die Ahnen der Odonata betrachtet werden dürfen, obwohl diese, und viele andere analoge Ordnungen äußerlich überaus ähnlich sind. Auch diese überraschende Tatsache wird uns nur verständlich, wenn wir bedenken, daß die Fauna eines jeden neugebildeten Kontinents nur so lange gedeihen kann, als dieser in größerer geschlossener Fläche besteht. Sobald ihn eine Meerestransgression zerlegt und überflutet, verschwindet seine endemische Lebewelt, und wenn ein neuer Kontinent später wieder auftaucht, dann muß er neu besiedelt und seine verschiedenen Lebensbedingungen abermals biologisch-anatomisch neu ausgenutzt werden.

Selbst für die verschiedenen Floren der Vorzeit lassen sich vielfach ähnliche Parallelreihen aufstellen. Denn die „Grasblätter" der Lepidodendren, Cordaiten, Gingkophyten, Yukka und Palmen, die „Farnblätter" der Pteridospermen und Filicinen, die Blattschirme der Dolerophyllen und Nymphäaceen gaben diesen anatomisch so verschiedenartigen Pflanzen doch einen so übereinstimmenden Habitus, daß man leicht erkennt, wie gleichartige Lebensformen immer wiederkehrten und wie ähnliche Gestalten, in Anpassung an dieselben, aus ganz verschiedener Anlage polyphyletisch entstehen mußten.

Wir betrachten also die Wasserwelt als eine einheitliche, in einfacher phyletischer ununterbrochener Reihe vom Untersilur bis zur Gegenwart fortlaufende Entwicklungsfolge, die, beständig in neuen Arten und Gattungen erscheinend, gleichartig durch die Erdgeschichte hindurchgeht.

Dagegen entsteht mit dem Auftauchen und dem Zusammenschluß größerer Landmassen immer wieder aus anderen Ahnen eine neue Landwelt, erwirbt durch Anpassung an die verschiedenen Bedingungen der Bewegung und Nahrungsaufnahme analoge, ähnliche organische Einrichtungen, und verschwindet mit ihrem Lebensraum nach kürzerer oder längerer Dauer. Nur versprengte Reste, vereinzelte Formen halten sich auf isolierten Siedelungen oder verschwinden langsam in einer sie ablösenden mächtig aufblühenden neuen Lebewelt.

Seitdem festes Land auf der Erde existierte und so oft aus den Fluten des Weltmeers neues Land auftauchte, mußte dieses wegen der Kugelgestalt der Erde in thermisch und hydrographisch verschiedene Zonen zerfallen, die senkrecht zur Erdachse in breiten oder schmäleren Bändern angeordnet waren. Der Gegensatz der kalten Polargebiete und des heißen Tropengürtels ist ebenso alt, wie die auf der schiefen Stellung der Erdachse beruhenden Jahreszeiten und es widerspricht allen Grundgesetzen der Meteorologie, wenn man für irgendeine frühere Periode ein thermisch gleichartiges Klima vom Pol bis zum Äquator behauptet oder die mathematisch notwendigen Jahreszeiten als einen späteren Erwerb der Erde betrachtet.

Daher muß es unsere wichtigste und erste Aufgabe sein, bei paläographischen Untersuchungen die wahrscheinliche Lage der Drehungspole und des Äquators festzulegen.

Da man solche Studien nur an Festlandsgebieten machen kann und, wie wir noch eingehend begründen werden, der Meeresboden keine entsprechenden Klimagürtel erkennen läßt, ist die Voraussetzung solcher Arbeiten, daß zuerst das Medium des Bildungsraums der Gesteine und des Lebensraums der darin verbreiteten Fossilien geprüft wird. Nur wer anerkennt, daß es festländische Gesteine gibt, kann eine solche Frage stellen oder beantworten.

Aber selbst hier sind noch Mißdeutungen möglich: Jeder Geograph rechnet die von den Flüssen, ihren Schaltseen, Überschwemmungen und Niederungen eingenommenen Flächen der Erdkugel, ebenso aber die Sandmeere und Salzseen, Schottermassen und Tonebenen der Wüste zum Festland. Dagegen sind viele Paläontologen geneigt, jede Ablagerung, bei deren Bildung fließendes oder stehendes Wasser beteiligt war, als neptunisch = marin anzusehen. Wer die in der Taklamakan über eine Fläche von der Größe Deutschlands ausgebreiteten, vom Tarim und seinen Nebenflüssen durchzogenen und immer wieder umgelagerten Wüstensande, oder die weiten Salzpfannen der persischen Käwire für neptunisch hält —

wird natürlich auch die Zechsteinsalze und den Buntsandstein als marine Bildung betrachten. Wir rechnen alle Ablagerungen, die sich außerhalb des einheitlich gesalzenen Weltmeers bilden, selbst wenn das Wasser bei ihrer Entstehung eine große Rolle gespielt hat, zum Festland.

In einem folgenden Abschnitt sollen die Kennzeichen behandelt werden, nach denen man marine und festländische sowie limnische oder salinische Gesteine und Faunen unterscheiden kann.

Die Klimagürtel des Festlandes werden zunächst nach ihrer Temperatur als kalt, gemäßigt oder heiß, nach ihren Niederschlägen und dem damit verbundenen Kreislauf der Vadose von A. Penck als nival, humid und arid unterschieden; ich füge den pluvialen Gürtel der eigentlichen Tropenzone noch hinzu.

Das Klima erzeugt an den Gesteinen der Erdoberfläche bleibende Veränderungen, die wir als Verwitterung bezeichnen, und die verschiedene Formen annimmt.

Die physikalische Verwitterung besteht in einer oberflächlichen Zerlegung der Gesteine ohne Änderung ihrer chemischen Zusammensetzung. Sie wird durch Temperaturunterschiede bedingt und ist um so stärker, je rascher und größer der Wärmewechsel erfolgt. Sie wird gemildert oder sogar verhindert durch eine nebelreiche Atmosphäre, Schnee, Wasser, Lockerboden und Vegetation, also durch dieselben Umstände, welche die chemische Verwitterung begünstigen, d. h. die molekulare Veränderung der gesteinsbildenden Teilchen. Unter ihnen geben die Feldspäte und die eisenhaltigen dunklen Bestandteile ein treffliches Reagenz für die Unterscheidung der Verwitterungsvorgänge ab. Unzersetzte buntgefärbte Bruchstücke von Feldspat sprechen ebenso für physikalische, wie gelb-, braun- oder rotgefärbte Eisensalze für chemische Zerstörung der Felsarten.

Die organische Verwitterung wird durch die Bewegungen und Lebensvorgänge lebender Organismen ebenso wie durch deren Gewebezerfall nach dem Tode bedingt. Dieselben Umstände, welche die Besiedelung eines Gebietes mit Pflanzen und Tieren begünstigen, bestimmen auch die Reichweite der damit verbundenen organischen Veränderungen der Oberfläche der Erdrinde.

Die chemische Verwitterung wird daher von der organischen stets begleitet, und die große erdgeschichtliche Bedeutung geschlossener Vegetationsdecken seit dem Devon für die Befestigung des gelockerten Bodens ist früher eingehend geschildert worden.

Je nach dem Verdunstung oder Niederschläge überwiegen, erfolgt die chemische Verwitterung in verschiedener Richtung und mit verschiedener Wirkung. Ein Überschuß an wässerigen Niederschlägen bedingt die Einwitterung, welche die Bodenteilchen löst, abwärts bewegt, auslaugt oder zersetzt und im allgemeinen von oben nach unten wirkt.

Das mit atmosphärischer Luft und Bodensalzen beladene Wasser kann an Spaltenzügen seine verändernde Wirkung bis in große Tiefe ausüben.

Beim Überwiegen der Verdunstung bewegt sich das im Boden enthaltene oder hineingedrungene Wasser von unten nach oben. Seine Konzentration nimmt hierbei beständig zu und endlich scheiden sich die gelösten Bestandteile beim Abdestillieren des Wassers nahe der Bodenoberfläche aus. Diese Auswitterung erfolgt nur an unbedeckt anstehenden Gesteinen und Böden und setzt ein trockenes warmes Klima, oder eine solche Jahreszeit voraus.

Die stärksten Wirkungen aber kommen zustande, wenn sich Einwitterung und Auswitterung in regelmäßigem Wechsel der Jahreszeiten ablösen. In der Gegenwart ist besonders das Klima von NW-Australien durch derartige Vorgänge ausgezeichnet. Bei einer mittleren Jahreswärme von 20° C fallen hier zwar 200 cm Regen, aber diese Niederschläge erfolgen während einer vom Dezember bis Januar reichenden Regenzeit. Dann folgt eine zehnmonatige Trockenperiode, in welcher der wie ein Schwamm durchfeuchtete Boden so tief austrocknet, daß das Wasser in den Zisternen 10 m sinkt. Bei einer solchen Verteilung der Niederschläge entstehen Verwitterungsdecken von großer Mächtigkeit, ausgezeichnet durch mehrere übereinandergelagerte Zonen: Zu unterst über dem noch frischen Gestein lagert eine durch starke chemische Veränderung und Auslaugung bedingte Bleichzone. Dann folgt eine durch Neuausscheidung der gelösten Salze bedingte Fleckenzone, und endlich sehen wir, wenn die Lösung der Mineralien in der Tiefe sehr intensiv erfolgt war, eine ebenso mächtige Krustendecke neuausgeschiedener Verbindungen. Eisenreiche Ursprungsgesteine werden eine meist rotgefärbte Lateritdecke tragen, auf kieselsäurereichen Gesteinen treten verkieselte Decken auf, doch können auch andere löslichen Bestandteile des Bodens, wie Kalk, Gips, Salz, Schwerspat weitausgedehnte Krusten erzeugen.

Jeder Klimawechsel verändert oder zerstört die Verwitterungsdecke der vorhergehenden Periode, verwandelt ihre Farbe, ihren chemischen Bestand, ihre Festigkeit und ihre Dauer. Je ähnlicher die dann herrschenden Umstände den Bedingungen sind, unter denen jene Verwitterungsdecke entstand, desto leichter wird sie erhalten. Besonders das nur unter vorwiegender Trockenheit entstehende Rot der Roterden und Laterite verwandelt sich rasch in Braun, wenn die Niederschläge regelmäßig verteilt sind. Dagegen bleiben die roten Farben erhalten, wenn eine lange Trockenzeit die Eisensalze im Boden konserviert. Deshalb ist der diluviale Laterit im westlichen Ostindien, ebenso wie an der westaustralischen Küste oberflächlich braun und gelb gefärbt, während an der trockenen Koramandelküste und im Innern der westaustralischen Wüste die rote Farbe den Charakter des Landes bestimmt. Oft bleibt nur die ausgelaugte Bleichzone erhalten, und ausgedehnte helle, selten

buntgefleckte Tone liegen über dem unzersetzten Untergrund. Viele Bauxit-, Kaolin- und Tonlager sind nichts anderes wie die Überreste einst weitverbreiteter roter Lateritdecken, deren Hangendes zerstört und zu neuen Ablagerungen verarbeitet wurde. Bei weitergehender Abtragung sind zuletzt nur noch die Wände tiefreichender Spalten rot verfärbt oder mit dem hinabgesickerten roten Schlamm der einst darüber gebreiteten Lateritdecken überzogen.

Die Verwitterungsvorgänge stehen in einem offenbaren Kausalzusammenhang mit der Durchlässigkeit und Dichte der Atmosphäre. Je klarer die Atmosphäre ist, desto leichter wird sie von den Sonnenstrahlen durchflutet, desto rascher kann auch die Ausstrahlung der von der Erdrinde aufgenommenen Wärme erfolgen. Deshalb sind die Wüsten mit ihrer trockenen, klaren Luft und die regenarmen Sonnentage in unserer Breite der Schauplatz der physikalischen Verwitterung.

Am stärksten aber muß diese Zertrümmerung auf einem wasser- und luftleeren Weltkörper, wie dem Monde auftreten. Seine glasige Oberfläche, die das Sonnenlicht so lebhaft spiegelt, wird von den Sonnenstrahlen rasch auf über 100° erwärmt, und dieselben Flächen nehmen, wenn sie in den Schatten geraten, rasch die Kälte des Weltenraumes (— 100°) an. So müssen durch die täglich sich wiederholenden unvermittelten Temperaturgegensätze alle Zacken und Berge in ein Haufwerk gewaltiger Glasblöcke zerlegt werden, die sich klirrend nach den Niederungen bewegen und dort die rauhen Flächen der sog. Meere bilden.

Auch unsere Erde muß, als ihre Rinde erkaltet war, eine dunkle Glaskugel gewesen sein. Aber zum Unterschied vom Monde war sie von einer wasserdampfreichen, mit Chloriden und Sulphaten gemischten Atmosphäre umgeben, die sich rasch zur flüssigen Hydrosphäre verdichtete. Ihr Werk ist es, daß die einstige Glashülle der Erde von oben her zerlegt, ihr chemischer Gehalt gesondert, in neue Verbindungen gruppiert und zur steinigen Lithosphäre umgearbeitet wurde. Heute, nachdem lange Perioden hindurch nicht allein die Oberschicht der einstigen Glashülle so wesentlich verwandelt, sondern auch alle vulkanisch zutage tretenden glasigen Magmamassen umgebildet worden sind, ist das einstige Gefüge unseres Planeten völlig umgestaltet. Glas findet sich nur noch in der Tiefe als glühendes, schlieriges Magma, unterhalb der erkalteten, aus scharfgesonderten Gesteinskörpern bestehenden, tektonisch und stratigraphisch, leicht zu gliedernden Steinrinde, deren Mächtigkeit im Laufe langer Perioden noch viel größer geworden wäre, wenn nicht die Metamorphose der Tiefenzone das feste Steingefüge immer wieder von unten her verflüssigt und zu dem umkristallisierten und umgekneteten Grundgebirge verwandelt hätte.

Aber nicht allein der Wasserdampf der Atmosphäre, sondern auch ihr CO_2-Gehalt ist zeitlichen und räumlichen Schwankungen unterworfen

und von Arrhenius und Frech zur Erklärung zahlreicher paläoklimatischer Tatsachen verwendet worden. Ein geologisch erkennbarer Zusammenhang zwischen beiden Erscheinungen ist freilich kaum nachzuweisen. Die postvulkanischen Mofetten kommen noch lange nach der Bildung von Aschenkegeln und Lavaströmen zutage. Man kann daher an der Hand der chronologischen Verbreitung von Lavagesteinen niemals zu einem richtigen Bild von der Menge der CO_2 kommen, welche jeweils der Atmosphäre zugeführt wurde, und noch viel schwieriger ist es, die Menge der CO_2 zu schätzen, die bei submarinen Eruptionen in das Meerwasser gelangt.

Noch viel unbefriedigender ist es aber, die Verminderung des CO_2-Gehaltes auf lithologischem Wege zu verfolgen. Die Kohlenlager der Oberkarbonzeit haben zweifellos die Menge der atmosphärischen CO_2 stark vermindert — wenn man annimmt, daß die kohlebildenden Pflanzen festländisch lebten. Sobald man aber, wie wir es oben ausführten, mit der Wahrscheinlichkeit rechnet, daß die Steinkohlen aus Wasserpflanzen entstanden, dann trat nicht eine Verminderung der atmosphärischen CO_2, sondern eine solche des Meerwassers ein. Und diese Vorgänge ordnen sich dann in ähnliche Verbrauchszeiten ein, wo marine Kalklager entstanden sind. Die Bildung der karbonischen Massenkalke oder der Triaskalke im Alpengebiete mußte unvergleichlich größere Mengen von CO_2 fesseln, als etwa die der Braunkohle im Tertiär.

Indem die Wärmestrahlen der Sonne mit geringem Verlust die Atmosphäre durcheilen und auf die Kugelfläche der um eine schräg gestellte Achse rotierenden Erdkugel treffen, erwärmen sie deren Oberfläche, werden von ihr absorbiert oder als dunkle Strahlen wieder in den Weltenraum hinausgestrahlt. So wird zunächst die Erdrinde und von ihr aus auch die Atmosphäre erwärmt, die Luft aufgelockert und die Flächen gleichen Druckes heben sich.

Die Verteilung der Sonnenstrahlen nach der geographischen Breite ist also die erste Ursache aller klimatischen Erscheinungen. Sie ist so stark bedingt von der Lage der Drehungspole, daß deren Festlegung das wichtigste Ziel jeder paläoklimatischen Untersuchung sein muß.

Die Licht- und Wärmestrahlen treffen mit voller Kraft auf die heiße Zone beiderseits des Äquators, welche etwa $^6/_{12}$ der ganzen Erdoberfläche bedeckt, verteilen sich dann mit verminderter Stärke auf die beiden gemäßigten Zonen, deren jede etwa $^2/_{12}$ umfaßt, während ein kleiner Rest von $^1/_{12}$ der kalten Zone an den Polen zugerechnet werden mag. Durch den Wechsel der Jahreszeiten ändert sich regelmäßig die Lage der Wärmezonen auf den beiden Halbkugeln. Dies äußert sich besonders darin, daß die kalte Polarzone zugleich einen halbjährigen lichtlosen Winter hat, der mehr als die verminderte Wärme die Kümmerflora dieser Gebiete erklärt. Je mehr wir uns dem Äquator nähern, desto geringer werden die täglichen und jährlichen Wärmeschwankungen.

Die kalten Zonen müßten daher beständig kälter werden, wenn ihnen nicht aus der Tropenzone der sich dort ansammelnde Wärmeüberschuß zugeführt würde.

Eine große Änderung des mathematischen Klimas besteht in der Abnahme der Wärme mit steigender Höhe, weil die Wärme mit je 100 m um etwa 0,5° C abnimmt. Je größer die Wärme ist, desto stärker ist die Höhenabnahme. Daher wird eine, durch Störung des Schichtenbaus oder vulkanische Aufschüttung entstandene und also geologisch leicht nachweisbare örtliche Veränderung der Böschung und des Geländes eine Klimainsel erzeugen, welche mitten in der kühlen oder sogar der heißen Zone eine Fläche anderer Wärme, allerdings ohne gleichzeitige Abnahme des Sonnenlichtes erzeugt. Solche Klimainseln sind als Vorposten und Etappen biologischer Wanderungen von großer Bedeutung.

Der auf einer ruhenden Erdkugel meridian und vertikal erfolgende Austausch der verschieden stark erwärmten thermischen Klimagebiete, die atmosphärische Zirkulation, wird aber durch die Erdrotation umgestaltet, und zwar verhalten sich, wie dies Hettner klarstellte, die Festländer anders wie das Meer:

Auf dem Weltmeere, also dem in einzelne Ozeane zergliederten Wassermantel, erfolgt die allgemeine Luftzirkulation in der bekannten, schematischen Weise, und zwar mit großer Geschwindigkeit und bei starker Ablenkung durch die Rotation.

Die Luft des Festlandes neigt zur Stagnation, die Ablenkung durch die Rotation ist geringer, die Windstärke wird verlangsamt und nur in den pflanzenleeren Urwüsten oder Wüstenzonen kann die Deflation ihre volle Kraft entfalten. Die durch Reibung gehemmte Luftbewegung staut sich ebenso an kleinen Bergkämmen, wie an großen Gebirgen und an Stelle der normalen ozeanischen Zirkulation tritt auf jedem Kontinent eine von seiner Größe beeinflußte besondere Zirkulation. In der heißen Zone herrschen im Sommer Windstille, im Winter passatartige Winde, mit zunehmender Breite werden beide Perioden verkürzt. Ein wenig gegliederter Kontinent (dessen Gestalt paläographisch leicht festzulegen ist) hebt sich auch klimatisch scharf vom benachbarten Meere ab, während eine vielgestaltige Küste den Gegensatz vermindert und das gleichmäßige Klima des Meeres weit in das Festland hinein überträgt.

Die thermischen Wirkungen der Sonnenstrahlen werden aber nicht nur durch Küstengestalt und Höhe, sondern in noch viel größerem Maßstabe durch den Wasserdampf der Luft klimatisch verändert und es entstehen dadurch jene für unsere heutige Erde so bezeichnenden sieben Zonen der Niederschäge. Mit A. Penck unterscheiden wir:

1. Die nivale Zone. Im Polargebiet, wie auf den Gipfeln hoher Gebirge finden wir ein Klima, ausgezeichnet durch geringe Niederschläge (15—25 cm im Jahre), die vorwiegend in fester Form als Schnee oder

Hagel fallen. Während des Winters ist der Boden gefroren, daher ruht die chemische Einwitterung, um sich während des Frühlings infolge der Schneeschmelze sehr zu steigern. Die Auswitterung ist auch im Sommer gering, dagegen spielt die physikalische Verwitterung eine große Rolle und erzeugt an den Böschungen riesige Bergstürze und Schuttbänder ebenso wie weite Steinfelder auf ebenem Felsengrund, die mit dem sich langsam bewegenden Schnee und Eis talabwärts gleiten.

Neben den hier gebildeten mächtigen Trümmergesteinen, die meist unsortiert abgelagert werden und oft durch dunkle Humusmassen gefärbt sind, spielen braungelbe Ockerablagerungen eine große Rolle. Schon am Rand alpiner Gletscher begegnen uns eisenreiche Niederschläge in flachen Tümpeln; eine viel größere Bedeutung gewinnen solche im Norden von Sibirien, wo nach Pohle das Wasser der großen Flüsse vom Dezember ab sich gelb zu färben beginnt (Samor) und so ungenießbar wird, daß alle Fische sterben. Lachse, Störe und Coregonus-Schwärme werden mit gelbem Ockerschlamm überzogen und vernichtet, während ausgedehnte gelbe Tonschichten im Delta der Flüsse zwischen die Schlammablagerungen eingeschaltet werden, deren Eisengehalt durch spätere Diagenese vielfach verwandelt werden kann.

Bei der Betrachtung des polaren Klimas denkt man außer der Temperatur meist nicht an eine für das Leben ebenso wichtige Bedingung, nämlich das Licht. Die Kugelgestalt der Erde und die Schiefe der Ekliptik bedingen es, daß die Polargebiete während des Winters nicht allein unter dem ausschließlichen Einfluß des kalten Weltenraums stehen, sondern auch eine völlig dunkle halbjährige Nacht haben. Da nun alles Leben vom Sonnenlicht abhängig ist und die Kohlensäureassimilation nur in diesem erfolgt, kann sich bodenständiges Leben nur während des Sommers der Polargebiete erhalten und vermehren, und ruht dann ein halbes Jahr lang. Daher sind die Polarpflanzen meist raschlebige Sommergewächse und selbst die perennierenden Arten bilden nur kleine niedrige Stämme und dünne Zweige. Die reiche Juraflora von Westantarktika, die untermiozänen Fagus und Sequoia der Seymour-Insel können dort nur gewachsen sein, als der Polarkreis eine andere Lage und die Erdachse eine andere Stellung hatte, genau so wie die tertiären großblätterigen Pflanzen, die zwischen den Basaltdecken Grönlands gefunden werden, auf eine völlig andere Lage des Nordpols schließen lassen. Mit einer örtlichen Veränderung der mittleren Jahrestemperatur lassen sich diese fossilen Floren nicht erklären.

Das Grenzgebiet zwischen dem nivalen und ariden Gürtel nennt man wegen seiner mittleren Temperatur die „gemäßigte" Zone, obwohl gerade in ihr die stärksten Wärmeunterschiede und ein beständiger Wechsel des Klimas eintritt. Über breit entwickelten Kontinentalflächen folgt auf die eigentliche Schneeregion die im Sommer oberflächlich ab-

tauende, aber in der Tiefe noch gefrorene Tundra. Der Eisboden erlaubt nur eine kümmerliche Zwergflora, doch wird der Unterlauf großer meridional fließender Flüsse von undurchdringlichen Weiden- und Erlengebüschen gesäumt. Sehr bezeichnend ist die durch den Wechsel von Frost und Hitze bedingte Zerwitterung aller anstehenden Gesteine (Spaltenfrost), die selbst an der Küste des Meeres zur Bildung großer Trümmerfelder (Uferfrost) führt. Ausgedehnte Moore bedecken alle Niederungen und blumige Wiesen locken wandernde Tierherden an. Die Uferwälder schließen sich in der folgenden Zone (der Taiga) zu geschlossenen Waldbezirken, zwischen denen Moore und Seen verteilt sind.

2. Die humide Zone hat auf gegliedertem Gelände das uns wohlbekannte Aussehen. Wälder und Wiesen, Seen und Flüsse erzeugen eine kaum übersehbare Mannigfaltigkeit und die in regelmäßigem Wechsel hier ausgebildeten Jahreszeiten erzeugen einen ebenso regelmäßigen Wechsel der klimatischen Kräfte. Spaltenfrost im Herbst und Frühling, Einwitterung in der regenreichen, Auswitterung in der trockenen Jahreszeit, Erosion des fließenden Wassers, Deflation des Windes, in den höheren Bergen sowie die Exaration der Gletscher tragen trotz der weitverbreiteten Pflanzendecken immer wieder das verwitterte Material ab und dauernde Abflußrinnen führen dasselbe beständig nach dem Meere. Es kommt daher nur dann zur Bildung größerer festländischer Ablagerungen, wenn die Eisdecken des benachbarten Nivalgebietes ihre Grundmoränen hereintragen. Die braunen und gelben Verwitterungsprodukte werden durch das abtragende Wasser in den Flußniederungen abgesetzt, während überall da, wo der Grundwasserspiegel sumpfbildend zutage tritt, Moor und Torf entsteht.

3. Während die humide Zone im Winter unter den Einfluß des nivalen Nachbargebietes gerät, reicht im Sommer die folgende aride Zone in ihre Grenzen herein und je trockener die warme Jahreszeit ist, desto mehr tritt die Auswitterung an Stelle der Einwitterung. Eine Zone von Halbwüsten („Steppen" mit kaltem schneereichem Winter und schwarzem Boden, „Savannen" mit milden Wintern und braunen Lockermassen) vermitteln den Gegensatz zwischen den 50—100 cm hohen Niederschlägen der humiden und den verschwindend geringen Regenmengen der Wüstengebiete. Die sehr starke physikalische Zerwitterung aller, selbst der härtesten Felsarten, das Ausblühen von Salzen aus dem abdestillierten Grundwasser und andere damit zusammenhängende Vorgänge zersplittern und zerbrechen die von keiner Vegetation geschützten Felsmassen und die Steinfelder, welche nicht durch dauernde Flußrinnen ausgeräumt werden. So füllen sich alle Wannen mit dem Schutt der umgebenden Gebirge bis deren letzte Zacken im eingeebneten Trockensee untertauchen. Die Verdunstung offener Wasserflächen erreicht eine Höhe von 4 m, die durch trockene Winde noch gesteigert

wird. Daher werden auch alle im Boden vorhandenen lithosen Wasser angegriffen. Metallösungen aus dem Grundwasser bilden Dunkelrinden an der Oberfläche besonnter Felsen, Lösungen von Kieselsäure, Schwerspat, Gips, Kalk und leichter löslichen Salzen erzeugen Verkieselungen, Gips- und Kalkkrusten oder seltsame Mischkristalle aus Sand und solchen Verbindungen. Die Bildung von Schwülen (Concretionen, Septarien) ist häufig und wo die Lösung des Flußwassers in einen Endsee verdampft, da füllt sich sein Becken mit Salzen. Die seltenen Ruckregen können zwar den gröbsten Schutt ein kurzes Stück verfrachten, doch nicht aus den abflußlosen Gebieten ausräumen. Nur staubfeines Material fegt der Wind hinaus und entfernt immer wieder die sich beständig neubildenden Gesteinssplitter; ein Staubfall auf den Canaren lieferte nach v. Fritsch 4 Mill. cbm Staub. Stürmische Winde heben aus den Niederungen sandreicher Flüsse oder von den zerbröckelnden Granit-Gneisgebirgen riesige Massen von Quarzsand empor und tragen sie als schräg geschichtete Wanderdünen bis zum fernen Meer. Wenn regelmäßige Gegenwinde die Sandfelder hin- und herschieben, dann füllen sich gewaltige Senkungsfelder mit mächtigen regellos geschichteten Sandsteindecken, zwischen denen vorübergehend fließende oder stehende Gewässer Strudelschichtung neben ebenflächigen Einlagerungen erzeugen. Trockenrisse und Rippelmarken, Tongallen und Fährten werden darin aufbewahrt.

Neben den verschiedenen chemischen Niederschlägen von Salz und Gips sind besonders die scharfkantigen Bruchstücke von Feldspat in Buntwacken, Konglomeraten und Arkosen für das aride Klima charakteristisch.

Wenn so die aride Region zu einem Gebiet intensiver festländischer Gesteinsbildung wird, so sehen wir in der an die Wendekreise grenzenden Übergangszone die verschiedenen abtragenden Kräfte besonders wirksam. In Afrika, Amerika, Asien und Australien sind gerade in diesem arido-pluvialen Grenzgebiet ausgedehnte Fastebenen weit verbreitet, deren oft nur mit einer schwachen Schuttdecke verhüllter Felsengrund aus tief abgetragenen Gebirgsfalten besteht, über deren flachwellige Oberfläche nur einzelne Härtlinge oder Inselberge mit steilen schuttbedeckten Abhängen hoch emporragen. Diese unwirtlichen, meist nur von Nomaden bewohnten Gebiete stehen unter dem Einfluß der größtem klimatischen Kontraste und werden daher viel intensiver verwittert und abgetragen, wie irgend ein anderes Gebiet der Erde. Eine heiße Trockenzeit mit kalten Nächten, plötzlich herabstürzende kalte Ruckregen und heftige trockene Stürme werden abgelöst von einer regenreichen Periode, wo die warmen Regenwolken aus der nahen Tropenzone die öden Halbwüsten überschwemmen. So folgt physikalische und chemische Verwitterung in buntem Wechsel aufeinander, größere Flüsse tragen, je nach der Lage der Wasserscheiden, den Überschuß der Niederschläge mit allem Gelösten und allen Flußteilen entweder nach der polarwärts ge-

legenen Wüste, wo sich die Senken und Sammelmulden mit ungeheuren Trümmergesteinen und Niederschlägen füllen — oder sie führen dieselben Massen gegen den Äquator, wo wasserreiche Ströme ihre ganze Fracht zum gewaltigen Delta ins Weltmeer tragen.

Die lithologischen Wirkungen der äquatorialen Pluvialzone sind durch den Überschuß des Regens bedingt. An der Küste von Kamerun fallen im Jahr 1047 cm, in Assam 1160 cm Regen, auf Hawai sogar 1250 cm Niederschläge, die trotz der hohen Verdunstung ausreichen, um das ganze Land tiefgreifend zu verwittern. Die Verwitterungsprodukte würden ebenso leicht ausgeräumt werden, wenn nicht eine dichte Urwaldvegetation die Lockermassen befestigte. Nur bei heftigen Erdbeben kommen mächtige Verwitterungsdecken samt dem daraufstehenden Urwald ins Gleiten, sinken nach den Tälern hinab, stauen riesige Stauseen auf und überfluten endlich sintflutartig das niedere Land, über das sie den mitgerissenen Steinbrei ausbreiten.

Nachdem ich mich lange Jahre (trotz mancher von mir in Ostindien gemachter widersprechender Beobachtungen) der Ansicht von F. v. Richthofens angeschlossen hatte, wonach der Laterit ein rezentes Verwitterungsprodukt der heutigen Tropen sei, gab mir eine Reise durch Teile von West-, Süd-, Ost- und Nordaustralien Gelegenheit, mich davon zu überzeugen, daß, wie dies schon die in Ostindien kartierenden Geologen stets angenommen hatten, der Laterit ein fossiles Gestein sei. Einige Referenten haben meine Beschreibung eines zerbröckelnden Diabasfelsens inmitten der karminroten Lettenpfanne des „Lake Rearside" so gedeutet, daß ich hier selbst eine rezente lateritische Verwitterung beschrieben habe; das ist ein völliges Mißverständnis. Denn erstens trägt die große dunkle Diabasinsel keine Spur einer Lateritdecke, dann aber besagt doch meine Angabe nur, daß der zerbröckelnde Diabassand durch den Wind über den roten Letten so verteilt wird, daß er für das Auge verschwindet und durch die innerhalb desselben aufsteigenden Salze absorbiert wird. Vor allem handelt es sich nicht um Laterit, sondern um salzige Roterde, also um ein Umlagerungsprodukt des ersteren.

Eisenreiche Verwitterungsmassen färben sich heute auch in den Tropen braun oder gelb, und wenn darunter rote Erde und Laterit verbreitet sind, so sind dieselben die fossilen Überreste eines älteren diluvialen Klimas, dessen Eigenart später behandelt werden wird.

Ein gutes Beispiel für die nach Klimazonen angeordneten Verwitterungsdecken der älteren Tertiärzeit bieten die bekannten Kaolinitlager, die in Italien beginnend, durch ganz Deutschland verbreitet sind aber im Norden nur bis Cornwall und Bornholm reichen. Ich halte sie für die durch Abtragung hangender eisenreicher Lateritdecken freigelegte, entkieselte und enteisente „Bleichzone" von tropischen Verwitterungsdecken. Die darauf lagernden Braunkohlenmoore haben die Kaolinit-

decken nicht gebildet, sondern sich nur deshalb darüber angesiedelt, weil der Untergrund dort vertont und wasserundurchlässig war.

Eine Klimainsel wird jedesmal die Zustände der polwärts angrenzenden Zone erkennen lassen, sofern nicht ein ganz hohes Gebirgsland, dessen Lage und Ausdehnung aus dem gefalteten Untergrund ersichtlich wäre, sogar innerhalb der Tropen die Wirkungen nivaler Ursachen zeigte. Auch große Flüsse werden die Verwitterungsprodukte eines fernen Klimagebiets verlagern und bodenfremde Ablagerungen bilden können. Doch werden solche Einzelheiten aus dem korrelativen Verband der anderen Erscheinungen leicht als Ausnahmen herausgelesen werden können.

Indem wir jetzt die Frage aufwerfen, wie man mit Hilfe festländischer Gesteine die jeweilige Lage der Klimazonen und die Lage der Drehungspole bestimmen könne, ergibt sich zunächst, daß

Die nivale Zone viel schwerer als das Pluvialgebiet zu erkennen ist, weil sie etwa nur ein Drittel von dem Raum der letzteren einnimmt. Große Trümmerfelder und Blocklehme, nebst den aus deren Rand ausgewaschenen fluvioglazialen Sanden sowie geschichtete Bändertone überlagern den teilweise rundgeschliffenen Felsengrund; Moore und Eisenerze treten dazwischen auf. Abgesehen von bodenfremdem Treibholz fehlen dickere Holzgewächse, und auch die unbeständig wandernde Fauna kann nur örtlich zahlreiche Reste hinterlassen.

Die humide Zone ist als vermittelndes Übergangsgebiet von geringer lithologischer Eigenart und wird in wechselndem Verhältnis nivale oder aride Erscheinungen erhalten können. Braune Böden überwiegen und wo weite Senken von Sumpfpflanzen bewachsen sind, bilden sich mächtige bodenständige Torf- und Kohlenlager.

Um so ausgeprägter sind die lithologischen Wirkungen der

Ariden Zone. Denn trotzdem ihre klimatische Eigenart heute nur auf einen schmalen Gürtel beschränkt ist, so streckt sich ihre Wirkung weit in die humiden und pluvialen Nachbarzonen, ja sogar in die nivalen Gebiete hinein, sobald ein größerer Kontinent, von fernen Wasserscheiden umzogen, seine Verwitterungsprodukte durch große Flüsse in den Wüstengürtel hineinleitet. Die im nördlichen Ural gebildeten Lösungen werden im Caspi angereichert, die roten Verwitterungsdecken aus der Umgebung von Kaschgar führt der 2000 km lange Tarim bis nach dem Lopnor, und die Schwarzerde Abyssiniens lagert sich am Boden des Bircket el Kurun 2000 km nördlich von ihrem Bildungsorte ab.

Bodenständige Bildungen des ariden Klimas sind zunächst Salz- und Gipslager, dann chemische Abscheidungen von Kalk, mögen sie als Sinterkrusten am Boden schwindender Endseen oder als Oolithlager in der benachbarten Flachsee entstehen; endlich Buntwacken und Arkosen.

Die anorganischen Trümmergesteine können in rings geschlossenen Wannen eine große Mächtigkeit erreichen und ihre Schichtung wird der

Ausdruck vorübergehender Wasserbedeckung sein, während eingeschaltete Platten mit Netzleisten die rasche Abtrocknung derselben Fläche erkennen lassen. Blocklehmähnliche Konglomerate, vom Wasser sortierte Sandsteine mit Tonschichten, vom Wind gleichkörnig gemachte Dünensande mit Kreuzschichtung und Tongallen, oder rasch auskeilende Lettenschichten häufen auf sinkendem Untergrund mächtige fossilarme Gesteine. Dazwischen werden feinkörnige Letten meist von lebhaft roter Farbe hohe Schichtenstöße aufbauen Am Rand großer Flüsse oder Seen wird eine üppige Flora sogar zur Bildung von bituminösen Schichten führen, sonst werden nur kümmerliche, an das trockene Klima angepaßte Oasenpflanzen eingefügt erscheinen. Die tropische Grenzregion des ariden Gebiets wird hohe Gebirge zu niedrigen Fastebenen abscheeren können — und alle diese Umstände werden durch die Lage der Wasserscheiden verengt oder auf breiter Fläche ausgedehnt wirken.

Das eigentliche Pluvialgebiet mit dauerndem Regen und wenig schwankender hoher Temperatur, wie es uns die heutigen Tropen zeigen, ist durch seine dichte Vegetation zur Bildung und Erhaltung tiefgründiger Verwitterung wohl geeignet, aber zugleich gegen die Deflation ebenso geschützt, wie gegen die Erosion der wasserreichsten Flüsse. Was diese ergreifen, das tragen sie entweder nach dem Meer oder in die benachbarten Wüsten, so daß es selten zur Bildung größerer und bezeichnender Ablagerungen innerhalb der pluvialen Zone kommt.

Wenn auch die in der heutigen Tropenzone so weit verbreiteten Lateritdecken und Roterden als fossile Bildungen unter dem etwas andern Klima der Diluvialperiode gebildet worden sind, so müssen wir sie doch als bezeichnende Kennzeichen der Pluvialgebiete betrachten und dürfen auch ähnliche rotgefärbte Ablagerungen der Vorzeit als Verwitterungsprodukte der heißen Zone ansehen. Eine isonome Zunahme der Niederschläge verwandelt sie leicht in Braunerde, während sich die rote Farbe in ariden Tropengebieten ausgezeichnet erhält.

Die lithologischen Wirkungen des Klimas äußern sich aber nicht allein darin, daß bodenständige Gesteine in bodenständig ruhende Verwitterungsmassen und allmählig an Mächtigkeit zunehmende Verwitterungsdecken zermürben, sondern es stehen auch jedem Klima bestimmte Transportkräfte zur Verfügung, welche die gelockerten Massen bis in nahe oder ferne Ablagerungsräume tragen.

Einen rein lokalen Charakter hat die Schwerkraft, denn selbst bei günstiger Abdachung des Geländes fallen Felsblöcke und Schuttmassen meist nur in geringer Entfernung von ihrem Ursprungsgebiet nieder; der Bergsturz von Flims hat vom Segnespaß bis zum Rheintal 6 km zurückgelegt. Eine Schwerewirkung besonderer Art sind die Banjire, welche auf Java an den Abhängen tropischer Vulkane in einem sehr regenreichen Klima dadurch entstehen, daß sich die gewaltigen Kraterkessel mit Wasser

füllen, bis sie sich beim Bersten der Kraterwand, vielleicht infolge einer seismischen Erschütterung, mit unheimlicher Gewalt durch die urwaldbedeckten Barrancotäler und deren reichbesiedeltes Vorland ergießen und ganze Landschaften mit einem Brei aus vulkanischen Aschen und gerollten Lavablöcken mit eingefügten Baumstämmen überschütten. Die Fundstelle des Pithecanthropus bei Trinil und zahlreiche gewaltige vulkanische Blocklehme hängen mit solchen Banjiren zusammen. Eine große Rolle spielen Bergstürze auch im ariden Gebiet und während der Herrschaft eines antinomen Klimas. Denn die Bildung großer Sprünge in festen Gesteinen, die Unterwitterung härterer Schichtenköpfe durch ausblühende Mergel und die Zerbröckelung polychromer Felsarten schafft so häufige Gelegenheit zum Abbrechen kleiner oder großer Felsmassen, daß alle Reisenden von dem donnernden Lärm berichten, mit dem in der stillen Wüstennacht Felsen und Felsmassen herabbrechen.

Von größerer oder geringer Reichweite ist auch die verfrachtende Kraft des Eises, die als Exaration nicht nur gewaltige Trümmermassen abhebt, sondern auch mit ihm den felsigen Untergrund bearbeitet und ihre bleibende Spur demselben aufprägt. Aber je antinomer das Klima wird, desto weiter dringen die Gletscher und Eisdecken. Ein metergroßer Rapakiwifindling hat von den Aalandinseln bis Halle einen Weg von 900 km zurückgelegt. Das Eis vermag ebensowenig wie die Schwerkraft ihre Last zu sortieren, daher entstehen im Wirkungsbereich derselben die bekannten glazialen Blocklehme, deren ferne Heimat den zurückgelegten Weg, und deren vereinzelte geschliffene und gekritzte Findlinge die einst wirkende Kraft erkennen lassen.

Die Erosion des fließenden Wassers wird in ihrer Reichweite von der Höhe der Verdunstung und der Lage der Wasserscheiden bestimmt. Das Wasser sortiert das verfrachtete Material nach Schwere und Korngröße, trägt es in enger Flußrinne von Berg zu Tal, um es endlich auf der breiten Fläche der Niederung oder in einem Wasserbecken auszubreiten. Ein Schaltsee bedeutet für den Transport nur eine vorübergehende Rast, während die Verdunstung in einem Endsee den günstigsten Fall für die Bildung festländischer Ablagerungen schafft. Da solche Binnenseen (Caspi, Aral, Balkasch) und die von ihnen kaum zu trennenden nur periodisch überfluteten Trockenseen riesige Dimensionen erreichen können, entstehen unter dem Einfluß des antinomen Klimas geschichtete Trümmergesteine und chemische Niederschläge von großer Mannigfaltigkeit. Der Abstand solcher Wannen kann 2000 km und mehr vom Abtragungsgebiet betragen und so können in einem Wüstenland die Verwitterungsprodukte der pluvialen und humiden Zone ebenso zur Ruhe kommen, wie die Moränen einer nivalen Klimainsel oder eines fernen Schneegebietes.

Der träge Kreislauf des isonomen Klimas schafft trotz der absoluten Höhe der Niederschläge nicht solche Wirkungen und unsere humide

Heimat läßt den aufmerksamen Beobachter leicht erkennen, wie gering die Abtragung in den von dichter Vegetation geschützten Bergländern ist.

Am merkwürdigsten und am schwersten zu verfolgen ist die abtragende Wirkung bewegter Luft, die Deflation. Sie ist nur an kahlen, pflanzenarmen, schnee- und wasserfreien Abhängen möglich und vermag auch nur kleine schon gelockerte Gesteinsteilchen abzuheben. Aber da sie unabhängig von der Schwere und auf breiter Fläche wie ein gewaltiger Besen die größten Gebiete abfegt, da sie vor keiner Felswand haltmacht, keinen Zacken unbeschädigt läßt, jede Höhlung und jeden Spalt erreicht, ist ihre Wirkung ungeheuer groß.

Die Bildung der rings geschlossenen Depressionen in der libyschen Wüste, an deren Boden die Oasen verstreut sind, und aus denen seit dem Oligozän 3000 cb km Gestein entfernt wurde, spricht am deutlichsten für ihre Kraft Dementsprechend ist auch ihre Reichweite fast unermeßlich. Denn der aufgehobene Staub gelangt ebenso in die höchsten Höhen der Atmosphäre, wo er jahrelang schweben und treiben kann, bis der gewaltige Dunstring als Lößzone niedergeschlagen wird oder als roter Staub die Tiefseebecken erfüllt. Alle feinkörnigen marinen Ablagerungen sind vorübergehend äolischer Staub gewesen, wurden innerhalb der Atmosphäre von den schweren Körnern des zerfallenden Gesteins getrennt und je nach ihrem Durchmesser und ihrem spezifischen Gewicht in die Höhenzone der Atmosphäre als Staubwolke oder Dunstschicht eingeschaltet.

Wenn auch alle Versuche, den atmosphärischen Luftkreislauf für eine bestimmte Periode zu ergründen, durchaus hypothetisch bleiben müssen, so kann man doch wenigstens die Richtung vorherrschender Winde unschwer festlegen. Die Ausdehnung vulkanischer Tuffe gegenüber den gleichzeitigen Vulkanbergen läßt schon im englischen Kambrium das Vorherrschen westlicher Winde erschließen.

Da festländische Dünenberge eine 5—10 Grad flachansteigende Luvseite und eine mit etwa 30 Grad abfallende Leeseite haben, läßt sich auch an einem diagonalgeschichteten Sandstein, dessen Bänke durch Wanderdünen aufgebaut wurden, die dort herrschende Windrichtung beobachten. Allerdings muß man beachten, daß größere Sandmeere nur unter dem Einfluß von Gegenwinden entstehen, so daß sich leicht die Spur zweier antagonistischer Winde nachweisen läßt. Die bis 90 Grad betragende Schichtung algonkischer Dünen in Schottland kann vielleicht damit zusammenhängen, daß sie aus einem Gemisch von Sand und Schnee entstanden sind.

Sehr charakteristisch ist die Schleifspur solcher Winde, die scharfen groben Sand über harte Gesteine bewegten. Auf dem libyschen Plateau ist der eozäne Kalk mit bis metertiefen Sandschliffurchen bedeckt, zwischen denen scharf ansteigende Schleifgrate die Nordrichtung des darüber fegenden Südwindes zeigen. So sieht man auch auf manchem

mitteldeutschen Braunkohlenquarzit die blatternarbige Spur und die wetzende Richtung postglazialer Ostwinde. Die parallelen Systeme vergabelter Rippelmarken auf der Unterseite mancher Sandsteinplatten, welche die windbewegte eintrocknende Tonschicht flacher Regenpfützen abgeformt haben, sind ebenfalls zur Bestimmung alter Windrichtungen zu verwenden.

Die lithologischen Vorgänge jeden Klimas streben nach einem Gleichgewichtszustand des Geländebildes, das sich aus der Widerstandskraft der dort anstehenden Gesteine, ihrer Gestalt und Lagerung und den dort herrschenden Vorgängen der Verwitterung und Abtragung ergibt. Man nennt ihn das „Endziel der Denudation", oder in der morphologischen Terminologie „die Reife des Geländes". Ist diese erreicht, dann hat sich durch Abtragung und Auflagerung eine Geländegestalt ausgebildet, welche weitere Abtragung erschwert. Aber nach dem vorher Gesagten ist die Reichweite der denudierenden Kräfte, besonders der Deflation, wohl imstande, ohne solche Hemmung weiterzuwirken. Auch die Bildung tektonischer Störungen muß sofort ein Wiederaufleben der einen oder anderen geologischen Kraft veranlassen. Es bilden sich hierbei in der vorher einheitlichen Klimaregion einzelne Klimainseln, in welchen besondere Kräfte auftreten.

Der Gang der Jahreszeiten bedingt besonders in mittleren und hohen Breiten einen regelmäßigen Klimawechsel; dadurch wird zwar die Grenzzone zwischen benachbarten Klimagebieten verbreitert und ihr Gegensatz gemildert, aber deren Eigenart nicht verändert. Die regelmäßige Wiederkehr feuchter und trockener, kühler und warmer Jahreszeiten wird aber innerhalb der festländischen Ablagerungen leicht zu einer ebenso regelmäßigen Wechsellagerung von Trümmergesteinen verschiedener Korngröße und Niederschlägen verschiedener Zusammensetzung führen können, wie wir solche im Sediment von Seen und Nebenmeeren oder im Schichtenbau von Salzlagern sehen.

Selbst die jährlichen Schwankungen der Niederschläge können ein solches Ausmaß erreichen, daß sich vorübergehend ein anderes Klima ausbreitet.

Die Niederschläge in Halle betrugen nach P. Holdefleiss:

1911 . . . . 265 mm
1908 . . . . 633 „

In Neukaledonien fielen nach O. Sarasin:

1905 . . . . 499 mm Regen
1910 . . . . 2038 „ „

Während ein länger andauerndes Klima allmählich einen Gleichgewichtszustand von Denudation und Auflagerung erzeugt, leitet jede, selbst die kleinste Klimaänderung eine tiefgreifende Umgestaltung aller lithologischen Vorgänge ein und ein in kurzem Schritte erfolgender

Klimawechsel kann ungeheure Veränderungen bedingen. Besonders wenn geschlossene Vegetationsdecken die Festländer überziehen, muß jede Klimaänderung eine Veränderung der festländischen Flora bewirken, und daraus ergeben sich bemerkenswerte Folgen für die Stärke der Denudation. Denn alle Verwitterungsdecken, die im Schutz geschlossener Pflanzensiedelungen entstehen, können nicht regional abgetragen werden, solange diese Flora gedeiht. So schützen Zwergbirke und Polarweide, Heide und Buschwald, Mangrove und Urwald durch ihr eng verflochtenes Wurzelwerk den lockeren Erdboden, auf dem sie wachsen, und jede dieser Pflanzengenossenschaften übt diese schützende Wirkung aus, solange sie unter dem ihr zusagenden Klima gedeiht. Jede Änderung der klimatischen Umstände schädigt zunächst die Flora, und indem diese erkrankt und abstirbt, verlieren die Verwitterungsdecken ihren Schutz. Jetzt vermögen die vorhandenen Denudationskräfte ungleich stärkere Wirkungen auszuüben. Vor allen Dingen beginnt sofort die Deflation, entfernt die lockere Bindemasse zwischen den gröberen Brocken, der Regen wird zur Flächenspülung, und in kurzer Zeit sind die Schuttdecken abgeräumt und nach den Niederungen verfrachtet, die jahrtausendelang im Schutz des Wurzelfilzes sich halten konnten. Mächtige Konglomerate entstehen aus den Bruchstücken harter Gesteine, Sandstein und Tondecken aus zerfallenem Granit und Gneis, und es bleibt ein kahles Felsengelände zurück, auf dem eine neue Vegetation nur mühsam wieder Fuß fassen kann.

Mit Rücksicht auf die beim Klimawechsel entstehenden Landschaftsformen ist zu beachten, daß die Felsenformen des ariden Klimas bei einer Zunahme der Niederschläge erhalten bleiben und daß wir deshalb noch heute so viele Überreste der durch vorwiegende Deflation entstandenen Berg- und Felsenformen der postglazialen Trockenzeit finden. Ganz anders aber wird das Gelände umgestaltet, wenn ein niederschlagsreicheres Klima trocken wird. Seine Oberflächenformen waren nicht durch die Unterkanten des Verwitterungsschuttes und die Oberfläche des unverwittert anstehenden Gesteins bedingt, sondern durch die mehr labilen, ausgeglichenen Formen der Schuttdecke. Wird jetzt die schützende Pflanzendecke entfernt und der Schutt abgeräumt, dann treten Felsenformen zutage, welche in der Struktur und im Gefüge des verwitternden Gesteins vorgezeichnet sind. Ein chemisch leicht zersetzbarer Gang, der in der einst vorhandenen Schuttdecke kaum erkennbar war, erscheint jetzt als tiefe Talfurche und ein der chemischen Zersetzung gegenüber sehr widerstandsfähiger Stock überragt als Härtling die weite Ebene. Die im Verwitterungsschutt regellos verteilten, noch unzersetzten Gesteinskerne reichern sich zu einer Steinsohle oder einem Blockmeer an, und nichts erinnert mehr an die Geländeformen der kaum verflossenen Vorzeit. Dadurch müssen aber auch die Abflußrinnen völlig

umgestaltet werden. Die Flüsse schlagen andere Richtungen ein, Seen entstehen und das ganze hydrographische Netz mit seinen Wasserscheiden nimmt neue Formen an.

Obwohl die geographische Verteilung der festländischen Lebewelt tiefgreifend von klimatischen Umständen bestimmt wird, und man auf diesem Wege früher fast ausschließlich paläoklimatische Zustände zu erforschen suchte, so ist doch diese biologische Methode viel unsicherer. Zunächst können nur bodenständige Pflanzen hierbei verwendet werden, denn die leicht beweglichen Tiere werden durch die Triebe der Nahrungsaufnahme und der Fortpflanzung über so weite Strecken verbreitet, daß ihr Fundraum wesentlich größer wird als ihre eigentliche Heimat. Die Vogelzüge erstrecken sich im tropischen Pluvialgebiet über 60 Breitengrade bis an die Grenze der Schneeregion. Hunger und Durst treiben ganze Herden von Steppentieren über riesige Flächen, und selbst die Raubtiere unternehmen große Wanderungen. So kann der Knocheninhalt einer Höhle oder einer mit Roterde erfüllten Spalte im Kalkgebirge aus ganz verschiedenen Elementen gemischt sein, und mancher klassische Fundort verdankt seinen Reichtum weniger dem dort herrschenden Klima, als besonders günstigen Bedingungen der Erhaltung.

Aber auch die Pflanzenwelt darf nicht ohne kritische Betrachtung des Fundortes und ihrer Zusammensetzung zu paläoklimatischen Schlüssen verwendet werden.

Zunächst muß man bedenken, daß die heute herrschenden Gruppen erst im Laufe der Erdgeschichte entstanden sind. Zwergbirken und Renntierflechten können die Tundren der Altzeit nicht bedeckt haben, Dattelpalmen und Tamarisken kann man in den Oasen der Buntsandsteinwüste nicht zu finden erwarten. In jeder Periode haben andere Pflanzengruppen die damals verfügbaren Lebensräume belebt und sich durch besondere Einrichtungen an die daselbst herrschenden Lebensbedingungen angepaßt. Wer in den feuchtwarmen Urwäldern von Ceylon die Berggehänge mit zarten Selaginellen bedeckt sieht, der ist überrascht, die dieselbe Gattung (S. lepidophylla) mit derben Blattrosetten, die sich, wie die Rose von Jericho jahrelang einrollen und nur nach seltenen Einzelregen ausbreiten, in den Felsengebirgen der texanischen Wüste wiederzufinden. Das Blattgeäder der Polarweide ist von dem der mediterranen Arten nicht wesentlich verschieden, und wenn heute die Zimmtgewächse nur im Tropenland gedeihen, so können die tertiären Arten von Cinnamomum in einem wesentlich kühleren Klima gewachsen sein.

Es darf also nicht so sehr die systematische Stellung der fossilen Pflanzen bei paläoklimatischen Betrachtungen in den Vordergrund gestellt werden, als ihr allgemein biologischer Habitus und ihre floristische Vergesellschaftung.

Da das chlorophyllhaltige Blattorgan der eigentliche Träger des Pflanzenlebens ist und eine reichere Entfaltung assimilierender Gewebe nur bei Anwesenheit von flüssigem Wasser und Sonnenlicht möglich ist, werden die Pflanzen des nivalen Polargebietes stets mit unterirdischen Dauerorganen die kalte Winternacht überdauert haben, um mit der Wiederkehr der Sonne rasch ihre Blätter zu entfalten. Die Glossopterisfloren der Permzeit scheinen diesen Anforderungen so gut angepaßt gewesen zu sein, daß ihre Bestände in nächster Nähe der Gletscherzungen sogar mächtige Kohlensümpfe bildeten.

Ganz ähnlichen, oft lange Jahre dauernden Ruheperioden ist die Flora der ariden Zone ausgesetzt, deshalb sind die allbekannten Charaktere der xerophilen Pflanzen, nicht ihre systematische Stellung entscheidend, wenn wir die Flora einer mittelzeitlichen Wüste bestimmen wollen. Aus den sumpfliebenden Sigillarien hat sich Pleuromeia entwickelt, die in den Oasen der Bundsandsteinwüste als sukkulenter letzter Rest dieser sterbenden Gruppe gefunden wird. Auch manche ältere seltsame Pflanze scheint ihre Eigenschaften dem trockenen Klima der Vorzeit zu verdanken. Die pfriemenartigen Blätter der Psilophyten mögen in den devonischen Urwüsten, die karbonischen gedrungenen Archäokalamiten auf den Steinfeldern der Kulmzeit gediehen sein und die scharfkantigen Gewebesplitter, die als „Häcksel" oft die Schichtenflächen mächtiger Grauwackenbänke bedecken, sind vielleicht ebenfalls nur die Überreste derber Bewohner von dürren, selten beregneten Schuttebenen.

Aber mitten in der trockenen Wüste entstehen durch besondere hydrographische Umstände Oasen, die eine reiche Flora bergen und nach kürzerem oder längerem Bestand in Flugsand vergraben werden. Wir unterscheiden nach der Gestalt des Geländes die Gebirgsoasen, Taloasen und Ebenenoasen, nach der Ursache des Wasserreichtums die Quelloasen, Flußoasen, Sumpfoasen und Seeoasen und betonen, daß überall, wo durch Senkung das Grundwasser zutage tritt, ebenso wie längs der Ufer jedes in die Wüste dringenden Flusses oder eines dort entstehenden Sees ein reiches Pflanzenleben angesiedelt wird, das geeignet ist, eine pflanzenreiche Zwischenschicht in mächtigen fossilleeren Gesteinen zu bilden.

Wandernde Dünen, die an unseren Küsten große Kiefernwälder überschütten und deren vertrocknete Nadeln in kleine Hohlräume verwandeln, haben in der Vorzeit natürlich auch die damaligen Küstenwälder erreicht und begraben. So scheinen die im Quadersandstein des Harzrandes erhaltenen breiten Farnblätter (Chathropteris), ebenso wie die beim Austrocknen zusammengerollten Blätter von Credneria unter ähnlichen Umständen eingebettet worden zu sein.

Der Wasserreichtum der pluvialen Zone äußert sich besonders in der Üppigkeit der dort gedeihenden Flora und da eine klimatische

Unterbrechung ihres Wachstums nicht eintritt, können sich großblätterige Pflanzenformen entwickeln, die innerhalb der verschiedensten Gruppen doch dieselben physiognomischen Typen darstellen.

Die karbonischen Rhacophyllen sind zwar Verwandte der Sphenophyllen, aber ihre breiten, fußgroßen Schirme erinnern uns an die Blätter der Seerosen in einem milden Klima.

Ein sprechendes Kennzeichen für die Sumpfflora eines wenigstens winterlosen Klimas scheinen die Einrichtungen zu sein, die wir in vielen altzeitlichen Wurzelorganen finden, um im weichen Boden die Last der oberirdischen Teile zu verankern; wie die Wurzelkränze der karbonischen Schachtelhalme, die Stigmarien der Schuppen- und Siegelbäume, die Nebenwurzeln der Psaronien u. a.

Es ist zu hoffen, daß diese Fragen von botanischer Seite erneut kritisch untersucht werden, denn das paläontologische Bild der Vorzeit bleibt allzu unvollständig, solange der fossilen Flora nicht die ihr gebührende Stellung eingeräumt wird.

Zahlreiche verwandte Fragen sind in Gothan's „Paläobotanik“ so umsichtig behandelt worden, daß ich auf dessen Ausführungen hier verweise.

Wie wir schon betonten, ist die Entfaltung der festländischen Pflanzenwelt in den einzelnen geologischen Perioden ganz davon abhängig, wie sehr sich die jeweils neu auftauchenden Kontinente ausdehnten und welche Pflanzengruppen dort durch zufällige Einwanderung oder phyletische Entwicklung vorhanden waren. Eine wesentliche Ausdehnung Westaustraliens würde die Proteaceen und andere Vertreter der seltsamen Eremaeaflora verbreiten und in allen möglichen Klimagebieten vom Äquator bis zum Südpolarland ansiedeln. Hierbei würden aus den vorhandenen Familien zahlreiche neue Zweige entstehen, die angepaßt an besondere klimatische Umstände, zu Tundra-, Steppen-, Wüsten- oder Urwaldpflanzen werden. Dagegen würde eine Verbreiterung Südamerikas ganz anderen systematischen Gruppen die Möglichkeit geben, um ähnliche biologische Eigenschaften zu erwerben.

Nur wer von diesem Standpunkt die Wanderung der Glossopterisflora oder der Palmen über die Welt verfolgt, wird die Zusammenhänge zwischen geologischer Umwelt und Phylogenie recht verstehen können.

Da die Fauna eines Festlandes in heterotropher Abhängigkeit von seiner Flora steht, sollte man annehmen können, daß man auch mit Hilfe **festländischer Tiere** paläoklimatische Untersuchungen anstellen könne. Allein trotz aller inneren Zusammenhänge zwischen der bodenständigen Nahrung und der von ihr lebenden, freibeweglichen Fauna, stellen sich dabei solche Schwierigkeiten entgegen, daß die meisten Schlüsse, die man aus den Resten großer Säugetiere über das Klima ihres Fundortes gezogen hat, nur bedingten Wert haben.

Wer würde, wenn er nur den Knochenbau eines nordsibirischen Pferdes mit dem Skelett eines kirgisischen Kulan oder eines in den tropischen Urwäldern des nordöstlichen Australien verwilderten Pferdes vergleicht, die grundverschiedenen Klimazonen ihres Lebensraumes erkennen? Die Zähne eines in der Lenamündung gefundenen Mammuth sind von den Zähnen eines ceylonischen Elephanten nicht zu unterscheiden, und doch bewohnten beide so entgegengesetzte Gegenden.

Diese Schwierigkeiten mehren sich, sobald wir völlig ausgestorbene Säugetiere biologisch verstehen wollen, — nur ganz vereinzelte Formen haben eine so charakteristische Lebensweise, daß sie hierbei verwendet werden können. Ein Biber-, ein Flußpferd-, ein Tapirfund spricht eine eindeutige Sprache, aber die meisten diluvialen Großtiere haben keine Beweiskraft für das in ihrem Fundort herrschende Klima.

Besonders in Zeiten großen Klimawechsels werden die Landtiere zu ganz willkürlichen Wanderungen veranlaßt und verlieren dadurch jeden Zusammenhang mit dem Boden ihrer ursprünglichen Heimat.

Günstiger liegen die Verhältnisse bei den Binnenmollusken, deren Bodenbeständigkeit bekannt ist, und die daher neuerdings von E. Wüst, D. Geyer u. a. mit großem Erfolg bei paläoklimatischen Untersuchungen verwendet worden sind.

Wenn man die Lebensverhältnisse der in einem Sediment gefundenen Fauna prüfen will, muß man sich vor allem darüber klar werden, welche Reste mit dem umhüllenden Gestein gleicher Entstehung sind, und welche als Fremdlinge hineingeraten sind. Viele geologische Fragen erscheinen in einem ganz neuen Licht, wenn wir jede fossile Lebewelt nach diesem Grundsatz zunächst sondern.

Die Fauna des Beckentons von Rabutz bei Halle, seit langem als Fundstelle diluvialer Säugetiere bekannt, ist neuerdings von Soergel wieder behandelt worden, und setzt sich aus folgenden Arten zusammen:

Equus sp., Rhinoceros Mercki, Sus scrofa ferus, Alces cf. palmatus, Cervus capreolus, C. euryceros, C. elaphus, Bos primigenius, Bison priscus, Elephas antiquus, Cricetus, Canis cf. lupus, Ursus arctos, Felis leo, Vögel, Emys orbicularis, Esox lucius.

Von diesen Arten fallen 16 für die Beurteilung der Bildungsumstände des Sediments aus, nämlich alle Landtiere (selbst die Schildkröten sind als lungenatmende Tiere nicht entscheidend).

Um so wichtiger sind die Funde von Esox, der zweifellos das Wasser bewohnte, in dessen Schlamm seine Reste liegen. Der Hecht ist ein Raubfisch, der andere Futterfische voraussetzt, und diese wieder können nur in einem an Wasserpflanzen reichen Gewässer leben. Der Rabutzer Ton kann daher nicht im kalten Schmelzwasser an einer Eiszunge gebildet worden, und ebensowenig ein abgeschlossener Stausee gewesen sein, sondern muß in Zusammenhang mit dem allgemeinen hydrographischen

Flußsystem gestanden haben. Alle Schlüsse, die man aus der hypothetisch vermuteten Lebensweise der als Leichen oder Jagdüberreste in das Rabutzer Becken geratenen 16 Landtiere ziehen kann, sind hinfällig, soweit sie mit der Lebensweise des einzigen bodenständigen Fossils im Widerspruch stehen.

42. Das Klima des Meeresbodens

Wir sind gewohnt, die klimatischen Vorgänge in der Atmosphäre von unten her zu betrachten und dabei die Erscheinungen ihrer höheren Schichten nur insofern zu berücksichtigen, als sie sich auf die Oberfläche der Erdkugel projizieren.

Das Klima des Meeres aber betrachten wir von seiner Oberfläche aus und nehmen von den thermischen Zuständen seiner Tiefe und seines Bodens nur insoweit Kenntnis, als sie jene Oberflächenerscheinungen ergänzen.

Die paläontologischen Erscheinungen, mit deren Hilfe wir aber das Klima eines bestimmten Zeitraumes der Erdgeschichte ergründen wollen, entstanden teilweise am Boden der Atmosphäre, in der Regel aber am Grunde des mehr oder weniger tiefen Meeres. Man hat sich gewöhnt, auch die hier herrschenden physikalischen und chemischen Zustände als „klimatisch" zu betrachten, und in diesem Sinne wollen wir hier die Klimagebiete des Meeresgrundes behandeln.

Während die Ausdehnung der festländischen Klimazonen durch die Lage der Erdachse, und ihre Grenzen durch die Jahreszeiten, also die Schiefe derselben bestimmt wird, haben beide Elemente keinen Einfluß auf den thermischen Zustand der Tiefe des Meeres. Denn das kalte, schwere Polarwasser sinkt aus der Oberzone unaufhaltsam hinab, und bildet überall die mächtige Unterschicht des Ozeans. Mögen die Oberflächenwasser unter den Strahlen der Tropensonne auch auf 30° und mehr erwärmt werden, darunter dehnt sich der gewaltige Wasserkörper mit niederen Temperaturen, und da Salzwasser ohne zu frieren auf — 2,5° abgekühlt werden kann und die schweren Unterströme unaufhaltsam gegen den Äquator vordringen, finden wir im südlichen Atlantik sogar Bodentemperaturen von — 2°.

So verwandelt sich der thermische Gegensatz verschiedener nebeneinander liegender Klimagebiete des Festlandes in eine Anzahl vertikal übereinander stehender verschieden warmer Wasserschichten, deren Berührungsflächen mit dem Meeresboden die Gestalt schmaler oder breiterer Bänder erhalten, welche nicht von Breitengraden begrenzt werden.

Aber auch noch in anderer Hinsicht unterscheiden sich die thermischen Einflüsse am Boden des Luftmeeres von denen am Meeresgrund: Auf dem Festland erzeugen die Sonnenstrahlen eine breite, mehr als die

Hälfte der Erdkugel bedeckende warme Zone. Auch die Meeresoberfläche wird in den niederen Breiten so erwärmt. Dagegen wird das Klima der Meerestiefen von den kalten Polargebieten bestimmt, deren Temperatur mit zunehmender Tiefe immer größere Flächen einnehmen, so daß selbst unter dem Äquator schweres kaltes Polarwasser ruht.

Die Wirkungen der Tageszeiten hören im Meer schon in wenigen Metern, die der Jahreszeiten in etwa 200 m Tiefe auf. Selbst in warmen Meeren zeigen nur die obersten 500 – 750 m mehrere, rasch einander folgende Wärmeschichten, dann beginnt das zwischen + 5° und unter 2° kalte Wasser der Tiefsee.

Die Verteilung der Temperatur am Meeresgrund zeigt also zunächst ein schmales, nur bei sehr flachen Meeren sich verbreiterndes Band, dessen Fläche von der klimatischen Oberflächentemperatur des benachbarten Festlandes bestimmt wird, dann folgen in wechselndem, aber von der Lage des Poles völlig unabhängigen Verlauf mit zunehmender Tiefe andere Wärmebänder, bis endlich die weite Fläche der Beckentiefe von einer einheitlichen kalten Wassermasse bedeckt wird, deren Temperatur der niedrigsten Wintertemperatur des darüberstehenden Klimagebietes entspricht



Abb. 1.
Akrothermische

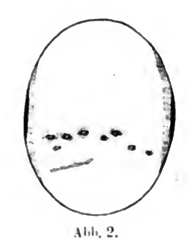


Abb. 2.
Benthothermische

Karte eines Ozeans.

Schwarz: warmes, grau: kühles, weiß: kaltes Wasser.

Das ganze Mittelmeerbecken hat demnach eine Tiefentemperatur von 13° in einer Mächtigkeit von 3000 m, die halbabgeschlossene Sulusee von 10°, die Bandasee (nahe dem Äquator) von 3°.

Eine akrothermische Karte der Oberflächentemperatur eines Meeres zeigt also ein ganz verschiedenes Bild von einer benthothermischen Karte desselben Ozeans, dort sehen wir die breiten, nur durch die Rotation der Erde verzogenen Bänder der solaren Klimazone, hier die weite kalte Fläche des Tiefenwassers, umgeben von schmalen Wärmelinien längs der Küste (vgl. Abb. 1 u. 2).

Wenn M. Neumayr und andere die Grenze ihrer paläogeographischen Klimakarten durch Breitengrade trennten, so gingen sie von einem grundsätzlichen Irrtum aus und mußten daher zu irrigen Schlüssen kommen. Ebensowenig wie man von einer allmähligen Ausbildung der Klimazonen sprechen kann, weil deren Unterschiede seit Urzeiten durch die Kugelgestalt der Erde bestimmt werden, darf man die festländischen Klimabänder auf den Meeresgrund übertragen.

Grenzenlos wie die Meeresfläche ist auch die darunter ruhende Wassermenge und jedes marine Lebewesen kann sich durch aktive Wanderung oder durch passive Drift über alle anderen Flächen verbreiten.

Es tritt hier die Frage auf, ob diese ozeanographische Eigenart eines die ganze Erdkugel umspannenden ungetrennten Weltmeeres eine uralte, oder neuerworbene Eigenschaft desselben ist. Die zahlreichen Ortsveränderungen des Meeres, die wir aus der geologischen Verbreitung der Fossilien erschließen können, lassen es möglich erscheinen, daß zu gewissen Zeiten das Weltmeer nicht einheitlich war, sondern durch festgeschlossene Landflächen in einzelne scharf gesonderte Wasserbecken zerfiel.

Für die präkambrische Zeit haben wir diesen Zustand der Erde (S. 124) als wahrscheinlich bezeichnet, weil die wenigen, aber doch so grundsätzlich verschiedenen Stoffe, welche die Lebewelt zum Aufbau ihrer Hartgebilde verwendet und unveränderlich innerhalb der einzelnen Formenkreise seither vererbt hat, auf einen früher anderen Zustand der Meere deutet. Die in getrennten großen Wasserbecken lebenden Weichtiere mögen den Überschuß von Kieselsäure, Kalk oder Strontianit zur Bildung ihrer Hartgebilde verwendet haben und blieben dieser Gewohnheit treu, als durch Zusammenfließen dieser Lösungen und Mischung der verschiedenen Formenkreise die Möglichkeit geboten war, daß eine Spumellarie auch eine Kalkhülle ausscheiden, oder eine Schneckenschale aus Kieselsäure gebildet werden konnte.

Andere Betrachtungen drängen aber zu dem Schluß, daß seit dem Kambrium, vielleicht genauer seit der Untersilurzeit die Einheitlichkeit des Weltmeeres niemals unterbrochen gewesen sein kann und immer ein geschlossener, die ganze Erdkugel überziehender oder überspinnender Wassermantel existierte. Denn die vergleichende Anatomie der fossilen und rezenten Tierstämme lehrt unzweideutig den monophyletischen Zusammenhang aller Organismen. Wäre das Weltmeer nur einmal in völlig getrennte Wasserbecken zerlegt worden, so hätten sich von diesem Zeitpunkt aus zwei oder mehr gesonderte Stammbaumreihen entwickeln müssen, deren Eigenart in der ganzen Folgezeit zunächst tiergeographisch, dann wenigstens anatomisch zu verfolgen wäre.

Daraus ergibt sich, daß die gesamte schwimmende, schwebende, kriechende und festgewachsene Meereswelt jederzeit die Möglichkeit hatte, alle ihr günstigen Lebensräume zu besiedeln, daß der Kampf ums

Dasein einen viel gleichartigeren Charakter annahm, und sich in jeder Periode eine marine leitende Lebewelt durch Auslese ausbilden konnte — während die Existenzbedingungen jedes kleinen oder großen festländischen Gebietes andere waren, zwischen denen der Austausch benachbarter Rassen und Lebensgenossen ungemein erschwert wurde. Schon aus diesem Grunde wird es uns verständlich, weshalb die phyletischen Veränderungen der Landwelt oft so wenig Schritt halten mit den gleichzeitig erfolgenden Umgestaltungen der Meereswelt und weshalb, wie später noch behandelt werden soll, auch die Lebewelt des Süßwassers ihre besonderen, abweichenden Entwicklungswege erkennen läßt.

Aber nicht nur die Schrankenlosigkeit des Weltmeeres und die ungetrennte Fläche seines Bodens bedingt so uniforme Existenzbedingungen im Meere, sondern diese werden noch verstärkt durch die Dichte des darüberstehenden Mediums.

Im Gegensatz zur gasförmigen Atmosphäre, welche die meisten Sonnenstrahlen ungeschwächt passieren läßt und durch die vom Erdboden reflektierten Wärmestrahlen von unten erwärmt wird, teilt sich ein großer Teil der Sonnenstrahlen der Wasseroberfläche mit und erwärmt dieselbe von oben her.

Die Wärme einer Wasseroberfläche dringt nur sehr langsam in die tiefen Wasserschichten. Es sind im wesentlichen die durch die Luftzirkulation innerhalb der Atmosphäre hervorgerufenen Wellenberge und Strömungen, welche sich auf den tiefen Wasserschichten reiben und dabei beständig mit ihnen vermischen. Am Beispiel des Golfstromes hat Zöppritz gezeigt, daß sich seine oberflächliche Bewegung im Laufe von 10000 Jahren bis 2000 m Tiefe nur mit 3,7% bemerkbar macht.

Je tiefer ein Meer ist, desto geringeren Einfluß haben also die festländischen Klimazonen auf seinen Boden, und nur im Flachwasser treten biologische und lithologische Erscheinungen auf, welche man paläoklimatisch verwerten kann. Alle Seichtwassergebiete gehören, ebenso wie die dem Meere eingestreuten Inseln und Untiefen klimatisch zu dem Nachbargebiet der festländischen Klimazone, darunter aber dehnt sich die universelle Tiefsee mit ihrem kalten Polarwasser.

Die biologischen Wirkungen dieser auf dem Festlande nirgends auch nur annähernd vorkommenden thermischen Kontraste werden aber ganz wesentlich gesteigert durch das Verhalten des Wassers zum Sonnenlicht. Während die Atmosphäre überall gleichmäßig durchleuchtet ist, und die Höhensonne der Hochgebiete sogar ganz besonders kräftige chemische Wirkungen ausübt, so daß die topographische Höhe nur wenig Einfluß auf die Verbreitung der Landpflanzen und besonders der Tiere hat, absorbiert das Wasser schon in geringer Tiefe die Lichtstrahlen. In 2 m Tiefe ist die Hälfte aller Lichtstrahlen absorbiert

und in 200 m sind alle roten und gelben Strahlen nahezu verschwunden. Daher gedeihen grüne und braune Meerespflanzen nur in den obersten Wasserschichten und bei etwa 200 m Tiefe verschwinden auch die roten Kalkalgen, die eine so große geologische Rolle spielen. Daraus ergibt sich, daß auch alle autotrophen Tiere an die oberen Wasserschichten gebunden sind und daß sich daher das marine Leben nur in den obersten Wasserschichten reich entfalten kann. Heterotrophe Tiere, die sich von toten Pflanzenresten oder von Tieren nähren, steigen bis in die größten Meerestiefen hinab, aber deren Besiedelung und Ernährung erfolgte stets von der lichten, warmen Oberzone aus.

Während die marinen Klimagürtel auf ihrer Westseite ungefähr die festländischen Wärmezonen fortsetzen, biegen sie dann auf ihrem ostwärts gerichteten Laufe gegen die kalte Zone so kräftig nach den Polen ab, daß ihre Grenzen auf der Ostseite desselben Meeres bis 25 Breitengrade polwärts verschoben erscheinen. Aber auch diese, oft so kräftigen Wasserbewegungen erlahmen in einiger Tiefe. Nur für die Verteilung der Oberflächentiere und besonders für alle passiv gedrifteten Organismen und deren tote Schalen (Ammoniten) haben diese Strömungen eine große Bedeutung. Ein Vogel sinkt da zu Boden, wo er stirbt, und ein Landtier wird in der Regel innerhalb oder wenigstens an der Grenze des Verbreitungsgebietes seiner bodenständigen Nahrung fossil. Aber ein toter Fisch treibt tagelang als Spiel der Wellen an der Meeresoberfläche und selbst wenn die Ammoniten „gute Schwimmer" waren, so mußten ihre toten Schalen häufiger außerhalb als innerhalb ihres Lebensraumes fossil eingebettet werden, weil die Verbreitung ihrer Schalen über den Meeresgrund nicht von den thermischen Klimazonen abhängig ist.

Je kleiner ein schwebendes oder schwimmendes Tier ist, je größer die Oberfläche seines Körpers und besonders sein Hartgebilde (z. B. Radiolaren) gegenüber dessen Volumen ist, desto mehr wird die Verbreitung seiner fossilen Reste unabhängig von den Grenzen seines Lebensraumes.

Wenn sich also die festländischen Pflanzen vorwiegend zur Feststellung der Klimazone eignen, und die von ihnen lebenden Tiere erst in zweiter Linie in Frage kommen, so gilt dieser Satz, auf die marinen Lebensbezirke übertragen, ebenso für die festsitzende Grundwelt. Daher haben alle Kalkalgen, Tabulaten, Korallen, Crinoiden, Bryozoen, Brachiopoden und die schwerbeweglichen Mollusken einen Vorrang vor den kriechenden, schwimmenden und besonders den treibenden Tieren bei paläoklimatischen Studien.

Möbius, der den Einfluß der Temperatur auf die Wasserwelt zuerst genauer untersuchte, teilte ihre Bewohner in stenotherme und eurytherme Formen ein und zeigte, daß die Mehrzahl stenotherme sind, d. h. nur ein geringes Schwanken der Wassertemperatur ohne Schaden

ertragen. Besonders viele Jugendformen sind auf eine unveränderliche Temperaturhöhe eingestellt. Es ist dabei gleichgültig, ob dieselbe nahe dem Gefrierpunkt liegt, oder 20° beträgt. Denn selbst die kalten Polarmeere sind ungemein reich an Pflanzen und Tieren und auch der Boden der kalten Tiefsee ist von formenreichen Faunen belebt. Man kann daher aus der Mannigfaltigkeit einer fossilen Fauna keinen Schluß auf das marine Klima ziehen, unter dem sie einst gelebt hat.

Die Tatsache, daß Korallenriffe heute nur innerhalb einer Zone leben, in welcher die Wassertemperatur nie unter 20° sinkt, ist oft als Beweis für paläoklimatische Zonen betrachtet worden, und es kann keinem Zweifel unterliegen, daß Korallenstöcke nur im Seichtwasser der wärmeren Meere gedeihen können, denn das Küsteneis der Polargebiete würde ihre Ansiedelung verhindern. Auch die altzeitlichen Stromarien, Tabulaten und Archäocyathiden können nur außerhalb der nivalen Region gediehen sein. Aber ob die Einzelkorallen der Altzeit ein warmes Klima anzeigen, scheint mir zweifelhaft.

Bei Schilderung der marinen Faziesgebiete werden wir ausführlich darlegen, daß auch die Verteilung der Sedimente am Meeresgrund ebenso wie ihre späteren digenetischen Veränderungen nicht durch Breitengrade geregelt werden. Die universelle Verbreitung der rezenten Tiefseesedimente spricht eine deutliche Sprache. Immer wieder müssen wir uns an die Flachseeablagerungen halten, deren Bildung vom Klima des nahen Landes beeinflußt wird: an Oolithe, die auf aride Wüstenküsten hinweisen, an erratische Drift, die für die Vereisung des Landes spricht — aber die vom Wasser und Wind verfrachteten Verwitterungsmassen des Festlandes verteilen sich nicht nach Breitengraden auf den Boden des benachbarten Meeres. Selbst im Küstengebiet von Nordaustralien, Singapur und Ceylon, wo rotleuchtende Lateritklippen aus dem Urwald bis an den Strand herantreten, wo rotschlammige Flüsse ihre Fracht weit ins Meer hinaustragen, bringt der Anker einen graugrünen Schlamm herauf und nur an der Mündung großer tropischer Ströme, wie Kongo und Amazonas, schiebt sich ein breiter Fächer von rotbraunem Flußschlamm in das Meer hinaus, dessen Lage aber mehr von der Meeresströmung als von der klimatischen Breite bestimmt wird.

Eine Veränderung der Meeresfläche verlagert und verändert die Ausdehnung der warmen Oberschicht der mittleren und niedrigen Breiten, bedingt Wanderungen der Fauna und Neubesiedelung vorher unbelebter Flächen — aber die Tiefenregion desselben Meeres wird dadurch nicht beeinflußt. Dasselbe gilt für eine Änderung der Meerestiefe. Denn da die Oberschicht gegenüber der eigentlichen darunter ruhenden Wassermasse nur eine geringe Mächtigkeit besitzt, muß die Tiefenänderung schon einen sehr großen Betrag erreichen, wenn diese dabei beeinflußt werden soll.

Die Klimaänderungen, welche alle lithologischen und biologischen Zustände auf dem Festland so tiefgreifend umgestalten, äußern sich in keiner merklichen Weise am Boden des Meeres. Die größere Dichte des Mediums und vor allem die Tatsache, daß die Sonnenwärme von oben auf dessen Fläche wirkt und also nicht, wie auf dem Land aufsteigende Strömungen hervorrufen kann, bedingen es, daß das Klima des Meeres sich sehr langsam verändert, und nur zu geringen Gegensätzen führt. Dazu kommt, daß selbst der schärfste Kontrast innerhalb der solar erwärmten Oberschicht nur in einem schmalen Band auf den Meeresgrund projiziert wird, unterhalb dessen eine unvergleichlich größere Fläche von der kalten Tiefentemperatur der Kältepole bestimmt wird.

Selbst die Schwankungen der Erdachse, oder die Veränderungen in der Sonnenstrahlung können hieran fast nichts ändern. So ist das Meer das konservative Element im Wechselspiel der irdischen Kräfte, und in seinem Schoß können sich langfristige biologische Vorgänge vollziehen, bei denen die Außenwelt kaum eine Rolle spielt, sondern die vornehmlich durch Vorgänge innerhalb der Organismen und das biologische Kräftespiel zwischen den Lebensgenossen geregelt werden.

42. Die Schneezeiten[1])

Unter dem Einfluß von Sonnenwärme und Schwerkraft wird die Vadose in eine auf- und absteigende Bewegung versetzt, die man als den Kreislauf des Wassers bezeichnet. Derselbe vollzieht sich in einfachster Form auf dem offenen Meer der heißen Zone, wo das flüssige Wasser verdampft, als Gas in die Atmosphäre steigt, hier wieder kondensiert wird und als Regen herabfällt. Mit zunehmender Breite verändert sich nicht nur der Weg dieses Kreislaufes, sondern es schiebt sich meist auch eine feste Phase ein; denn das Wassergas wird in Eis oder Schnee verwandelt, treibt in dichten Wolken über die Erde und fällt dann geschmolzen oder als Schnee wieder herab.

Solange sich der Kreislauf der Vadose über dem offenen Meer bewegt, hat er keine bleibenden geologischen Wirkungen; nur wenn sich seine Endvorgänge auf festländischem Boden abspielen, hinterlassen sie Spuren ihrer Tätigkeit. Nur festländische Verwitterung und Erosion, Exaration und Ablagerung haben entscheidenden Wert für die Beurteilung klimatischer Zustände.

1) Um den Preis dieses Buches nicht zu verteuern, habe ich leider auf die Beigabe vieler Bilder verzichten müssen, die ich dafür gesammelt hatte. Nur in diesem Abschnitt mache ich eine Ausnahme, weil mehrere Photographien, die ich Herrn Prof. Howchin in Adelaide verdanke (Taf. I 1, 2, 3, 4 am Anfang) und einige meiner Kartenentwürfe, die mein Assistent Herr Dr. von Freyberg weiter ausarbeitete (Taf. II, S. 448 und Abb. 3 u. 4), die hier behandelten Probleme besser verständlich machen.

Der zwischen Meer und Festland sich abspielende Kreislauf der Vadose tritt nun, wie wir schon früher zeigten, in drei verschiedenen Formen auf:

1. Der pluviale Kreislauf beginnt auf dem verdunstenden Meer, greift mit Regenniederschlägen weit auf festländischen Boden hinüber und der nicht verdunstete Überschuß rinnt als flüssiges Wasser bis zum Ufer des Meeres.

2. Der aride Kreislauf hat dieselben Anfangsstadien wie der pluviale, aber da die Niederschläge in einem Gebiet überwiegender Verdunstung fallen, werden die Flüsse immer wasserärmer und enden in einem abflußlosen Endsee oder im Lockerboden der Wüste.

3. Der nivale Kreislauf beginnt auch als Wasserdampf, dann entstehen Schneeflocken, die selbst nach ihrem Fall noch weite Flächen des Festlandes überfliegen, ehe sie sich im Windschatten anhäufen. Das Liegende der mächtigen Firnfelder tritt als blauer Gletscher oder Eiszunge hervor und gleitet über das Land, bis es die Meeresküste erreicht und sich mit abbrechenden Eisbergen darin auflöst. Oder es schmilzt schon innerhalb des Festlandes und eilt wieder als flüssiges Wasser zur Wüste oder zum Meere.

Während der pluviale Kreislauf in raschen Schritten über das Festland strömt, so daß ein Wassertropfen, der 1 m in der Sekunde zurücklegt, an einem Tage über 80 km weit fließt, bewegt sich der nivale Kreislauf ungemein langsam. Ein Schneeteilchen ruht zunächst lange Jahrzehnte in der Firnmulde und das daraus entstehende Gletscherkorn durchmißt an einem Tag nur eine Strecke von 2 m. Das bedingt eine jahrtausendlange Speicherung des vadosen Meerwassers auf dem Festland. Je größer und ungegliederter die festländische Masse ist, desto weiter reichen diese Eisströme und desto längere Zeiträume hindurch weilt das Meerwasser auf dem Festland.

Diese nivale Speicherung flüssiger Vadose hinterläßt geologisch leicht wiedererkennbare Wirkungen: Zunächst entsteht unter der wachsenden Schneedecke eine durch Gletscherschliffe und Rundhöcker ausgezeichnete Exarationsfläche, von der aller vorher vorhandene Verwitterungsschutt, ebenso wie alle weicheren Gesteinsmassen abgeräumt werden.

Um diese, im Schichtenprofil als abgeschliffene Diskordanz leicht erkennbare zentrale Fläche legt sich ein mehr oder weniger breiter Rand von glazial abgelagerten Moränen (Geschiebelehm, Tillit), dann folgt eine äußere Zone, innerhalb deren das Schmelzwasser die sog. fluvioglazialen Ablagerungen bildete. Der innere Teil dieser Randzone wird bei dem häufigen Wechsel in der Länge der einzelnen Eislappen aus einer größeren Anzahl von Moränendecken oder Tilliten mit schwachen fluvioglazialen Zwischenlagen aufgebaut, während nach außen jene zurücktreten, und diese an Mächtigkeit zunehmen.

Als in Europa die weite Verbreitung erratischer Findlinge und eisgebildeter Moränen erkannt worden war, bezeichnete man die ganze Periode als „Eiszeit“ und übertrug diesen Namen auch auf die entsprechenden Erscheinungen in den Lockermassen des norddeutschen Flachlandes.

Aber seitdem durch die Untersuchungen von A. PENCK und BRÜCKNER zunächst in den Alpen, dann aber auch in anderen Gebieten eine wiederholte Vereisung und ein mehrmaliges regionales Abschmelzen der Eisdecke sicher erkannt worden ist und jene Perioden als „Eiszeiten“ diese aber als „Interglazialzeiten“ bezeichnet werden und besonders seitdem man im Perm und Algonkium durch Tillite ähnlich großer Vereisungen, unterbrochen von mehreren interglazialen Ablagerungen, nachgewiesen hat, ist es vom stratigraphischen Standpunkt nicht mehr angängig, eine Teilerscheinung mit demselben Wort zu bezeichnen, wie die aus ihrer mehrmaligen Wiederkehr zusammengesetzte Gesamtperiode. Da nun der Gegensatz der einzelnen „Eiszeiten“ und ihre Nomenklatur nicht mehr abzuändern ist, gilt es einen neuen einheitlichen Ausdruck für die ganze Periode anzuwenden.

Die klimatische und geologische Einheit nivaler Perioden muß aber auch noch von einem andern Gesichtspunkt aus betont werden: Die Profile des nordischen Diluvium zeigen bei einer Maximalmächtigkeit von 290 m bis zu 10 Geschiebelehmdecken wechsellagernd mit 1 bis 9 interglazialen Schichtenfolgen (Abb. 3). Mag man auch diese 10 Vorstöße in 3 oder 4 Eiszeiten einordnen, jedenfalls besteht die Schichtenreihe aus einer wiederholten Folge von zwei verschiedenartig gebildeten Gesteinen.

Vergleichen wir damit das Profil im Oberkarbon von Oberschlesien, so finden wir einen Schichtenstoß von 6850 m, dem 478 Steinkohlenflöze eingelagert sind. Trotzdem es sich um eine Schichtenfolge handelt, die 23 mal so mächtig ist wie das größte Diluvialprofil, würde kein Geologe hier von 478 „Karbonzeiten“ sprechen, sondern alle diese Einschaltungen als Einzelerscheinung eines einheitlichen erdgeschichtlichen Vorgangs betrachten.

Wir bezeichnen deshalb eine geologische Periode, innerhalb deren ausgedehnte Exarationsflächen und mächtige bodenfremde Moränendecken gebildet worden sind, als Schneezeit; nennen, dem bisherigen Sprachgebrauch folgend, die innerhalb einer solchen nachweisbaren größeren und gleichzeitigen transgredierenden Bewegungen des Eisrandes „Eiszeiten“, und bezeichnen die dazwischen liegenden regredierenden Bewegungen als interglazial. Sie entstehen durch Wechsellagerung der am Schmelzrand der Eisdecke gebildeten extraglazialen Ablagerungen mit den transgredierenden Grundmoränen.

Indem wir die Schnee- und Eiszeiten als eine klimatisch bedingte Form des Kreislaufs der Vadose betrachten, müssen wir uns aber noch

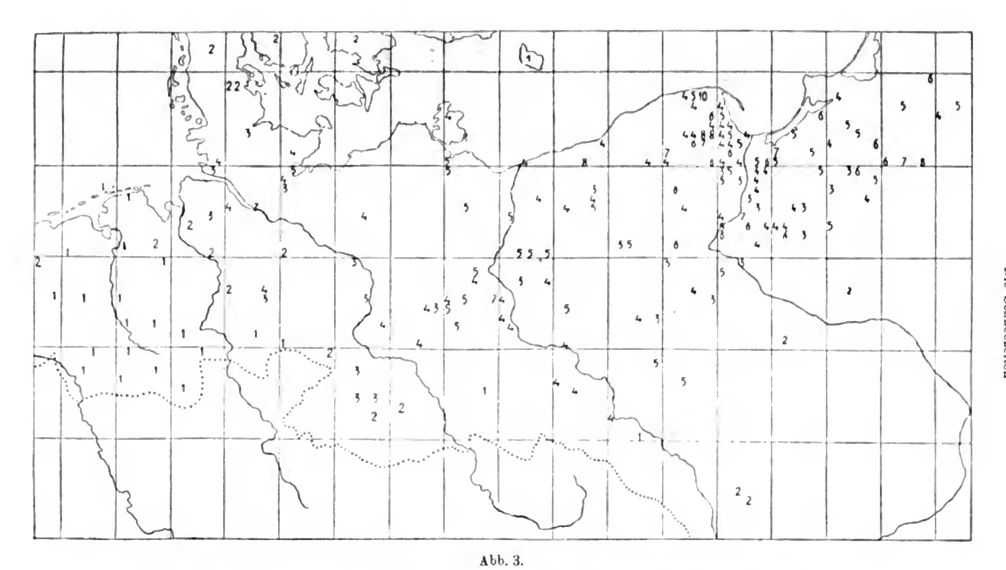


Abb. 3.

Die Anzahl der in Norddeutschland durch Aufschlüsse und Tiefbohrungen nachgewiesenen Geschiebelehmdecken und der Südrand der Vereisung

einige wesentliche Unterschiede gegenüber dem pluvialen Kreislauf klarmachen: Jeder Regentropfen, der, ohne zu verdunsten oder zu versickern, auf festes Land fällt, beginnt sich, entsprechend der Böschung des Geländes weiterzubewegen, vereint sich mit andern Wassergerinnen, eilt ununterbrochen nach den nächsten Senken, füllt dieselben bis zum Rand und gelangt so endlich nach dem Ozean. Die dem Flußlauf eingefügten Schaltseen bilden Stufen in dem gleichsinnigen Gefälle.

Der trocken fallende Schnee hat andere Schicksale. Wie Enquist hervorgehoben hat, häufen sich die größen Schneemengen nicht etwa über der Fläche auf, wo die größten Niederschläge fielen, sondern der Schnee wird durch wirbelnde Bewegungen weitergetrieben und findet erst im Windschatten der Berge oder in weiten windstillen Senken seine Ruhestätte. Die größere Länge der Gletscher auf der wärmeren Südseite der Alpen und ebenso die heutige Verteilung der norwegischen Eisdecken findet darin ihre Erklärung. Aber auch für ältere Schnee- und Eisgebiete muß man berücksichtigen, daß das Optimum der Eisdeckenbildung von dem Maximum der Schneeniederschläge leewärts weit entfernt gewesen sein kann.

Die Entstehung glazialer Erscheinungen muß aber vor allem als eine rein festländische Erscheinung betrachtet werden. Nur auf großen Landflächen (ausnahmsweise auch auf felsigen Untiefen in ganz seichtem Wasser) können sich so ausgedehnte und mächtige Schneemassen aufspeichern, daß sich deren Liegendes in fließendes Eis verwandelt und, über den Untergrund gleitend, die dort ruhenden Lockermassen (Verwitterungsdeken, Schuttdecken, unverfestigte Gesteine) mit sich fortbewegt. Sobald eine solche Eisdecke in tieferes Wasser gelangt, löst sie sich in zahlreiche Eisberge auf, welche mit ihrer Fracht den Meeresgrund übersäen, aber niemals geschlossene Tillitdecken bilden können.

Von großer Bedeutung ist sodann die Gestalt des Untergrundes. Bildet sich Firnschnee und Eis auf dem zertalten Gelände eines höheren Gebirges, dann entstehen schmale lange Gletscher, die, selbst wenn sie den liegenden Schutt als Grundmoräne ausgeräumt haben, doch noch dauernd durch Spaltenfrost und Steinschlag mit den Trümmermassen der Seiten- und Mittelmoränen von oben überschüttet werden. Durch diesen beständigen Ersatz des Lockermaterials von oben wird die ausräumende Kraft der Gebirgsgletscher immer wieder belebt und jeder neue Eisvorstoß bringt neue Moränen und neues fluviolglaziales Material nach dem Vorland.

Auf einer flachwelligen Hochebene, die nur von einzelnen Härtlingen überragt wird, räumt das dort entstehende Binneneis den tiefgründig verwitterten Grund restlos ab, verteilt die tonigsandigen Bestandteile der Verwitterungsdecken als trübe Grundmoräne in seinem Eis, und die festeren Kerne der vergrusten Tiefengesteine treiben mit den scharf-

kantigen Blöcken abgepreßter Felsenzacken regellos in der schmutzigen Grundmoräne Die Gerölle der vereisenden Flußbetten bilden Findlinge mit frischgeschliffener Oberfläche zwischen eckigen Blöcken und angewitterten Granitkernen und noch während des Transportes von fossilführenden Kalken oder mürber Kreide lösen sich solche weichere Schollen in Wolken auf. Da das Moränenmaterial nicht von oben ergänzt wird, entspricht die Masse des Geschiebelehms der Mächtigkeit vorher vorhandener Verwitterungsdecken.

Während sich nivale Inseln und kleinere sehr schwankende und vergängliche Gletscher auf jedem gefalteten Gebirge oder aufgeschütteten Vulkankegel, selbst mitten im tropischen Pluvialgebiet bilden und ihre lokale Grundmoräne ausbreiten können, ist die Entstehung großer ausgedehnter Tillite nur innerhalb des Polarkreises möglich. Besonders wenn wir eine Wechsellagerung solcher Glazialerscheinungen mit marinen Schichten beobachten, ist diese geologische Schlußfolgerung unvermeidlich. Mag ein solches Tillit auch fern vom heutigen Pol liegen — seine ursächliche Beziehung zum Polarkreis kann nicht bezweifelt werden und alle theoretischen Einwendungen gegen die Annahme von Polverlagerungen während der großen Schneezeiten der Erdgeschichte können diese geologischen Zusammenhänge nicht entkräften.

Grundverschieden wie ihre Bildungsart und Gestalt ist auch die Bewegungsform der Gletscher und des Binneneises. Eingeengt zwischen hohen, steilen Bergkämmen, ein Abbild des linearen Flusses, in den er sich leicht verwandelt und aus dem er entstand, fließt der Gletscher in schmalem Eisband dahin und jede Biegung der Talrinne bestimmt seine Richtung. Wie das aufgestaute Wasser eines Schaltsees auch ein Seitental erreichen kann, so gleitet er wohl über flache Wasserscheiden spielend hinweg, aber sein Lauf im Gebirge ist hydrographisch vorgezeichnet.

Die Talrinne gestaltet jedes Schwanken der Gletscherlänge, d. h. jede Differenz zwischen Eisschmelze und Eisbewegung zu einem interglazialen Rückzug oder einem glazialen Vorstoß und wenn uns die Beobachtung der heutigen Alpengletscher im benachbarten Talsystem bei unveränderlichem Klima vorrückende und zurückweichende Eisströme zeigt, so lehrt uns der Untergrund des Malaspinagletschers, unter dessen neuerdings schmelzendem Eis eine riesige, einst mit Waldbäumen bestandene Fläche wieder zutage tritt, daß bei gleichbleibendem Klima sogar Schwankungen des Eisrandes von 50 km Länge vorkommen können.

Da die Flußrinnen eines zertalten Gebirges die Richtung der Gletscherströme bedingen, kann leicht der Fall eintreten, daß die Gletscherkritzen und die Wege der eisgetragenen Findlinge in einem Gebirge polwärts gerichtet sind. Dasselbe gilt, wenn ein innerhalb des Polarkreises gelegener Archipel mit Firnfeldern und Gletschern bedeckt ist. Auch hier

ist die Richtung der Gletscherbewegung, der Gletscherkritzen und der Transport der Findlinge von der Lage des Pols nicht abhängig.

Für die Richtung der Wirbelbewegung einer großen Binneneisdecke spielt das Gefälle des Untergrundes fast keine Rolle. Schon unsere schmalen Alpengletscher können Vertiefungen ausfüllen, und den darin liegenden Schutt allmählich auskolken, und wenn auch ihre Oberfläche wie eine Flußfläche ausgeglichen, vom Firnfelde bis zur Eisstirn eine gleichmäßig sinkende Kurve darstellt, so ist doch deren Unterkante dieser nicht parallel.

Das gilt in noch viel höherem Maße von den aus regionalen Schneegebieten heraustretenden Binneneisdecken. Denn wenn das Eis auch jede Senke auf seinem Weg erfüllt und die herabgeglittene Eismasse darin lange rasten kann, so schreiten doch die nachdringenden Eisdecken rasch über diese Trogausfüllung hinweg und bewegen sich unter dem Druck der neugebildeten Schneefelder so lange vorwärts, als deren Gipfel höher liegt, wie das Gelände auf dem der Eisrand durch Abschmelzen zum Stillstand kam. Im Randgebiet kann beim starken Nachdringen der fernen bodenfremden Eisdecken sogar eine erhöhte Mächtigkeit des Eises entstehen, wenn sich ihm Gebirge entgegenstellen. So mag manche, am Rand des Harzes oder der Sudeten gemessene Zahl über die topographische Höhe der mit Findlingen überstreuten Berge nicht der wirklichen Mächtigkeit des Binneneises entsprechen, sondern nur seinem aufgepreßten übereinandergeschobenen Stirnrand.

Eine auf weiter schneebedeckter Landfläche entstehende Firnmasse und das darunter hervorquellende Binneneis wird zwar in seinem Liegenden alle Unebenheiten des Untergrundes benutzen, um auf vielgewundenen Wegen die nahe oder ferne Senke zu erreichen, aber die beständig wachsende aufgespeicherte Schnee- und Eismasse wird mit jedem Jahrzehnt unabhängiger von der Bodengestalt, und ihre Bewegungen werden ebenso vielgestaltig, wie die Wirbel und rückläufigen Strömungen in einem breiten Fluß, dessen einfach linearer Stromstrich doch auch die Resultante von allen diesen Einzelbewegungen ist. In ausgezeichneter Weise hat E. Philipp die Talbewegungen einer größeren freien Eismasse untersucht. Wenn nach ihm sogar die Bänderung des Gletschereises auf zahllosen inneren Überschiebungen einzelner parallel dahingleitender Eisschichten beruht, um wieviel mannigfaltiger muß sich die Bewegung einer großen Eismasse aus der Vogelschau gestalten. Das einfache Linienbild eines Gletschergebirges kann auf solche Eisdecken nicht angewandt werden, eher möchte das wilde, beständig sich teilende oder zusammenströmende, vor- und rückwärts strudelnde Wasser einer großen Überschwemmung mit den verwickelten Wirbeln verglichen werden können, die eine Binneneisdecke zeigt in der auf- und abwärts gerichtete Eiszungen sich begegnen oder ablenken. Die steingespickte Grundmoräne

wird hierbei immer wieder nach oben in langen Fahnen und Überschiebungen in das reinere Obereis hineingepreßt und mitten zwischen hohen Eisfeldern kann eine driftfreie Fläche entstehen, die ein späterer Eislappen wieder überdeckt; oder die Sonnenstrahlen schmelzen ein weites Fenster aus den sich verdünnenden Decken.

Infolgedessen ergibt sich auch ein wesentlicher Unterschied in der Lage und Anordnungen der Moränenmassen eines Gletschers oder einer Binneneisdecke. Im Gebirge ziehen verlassene Seitenmoräne hoch an den Bergwänden entlang und jeder Eisvorstoß schiebt die Stirnmoräne weit ins Vorland hinaus; hier legen sich, den verschiedenen Eisvorstößen entsprechend, die Moränendecken übereinander und die mit ihnen wechsellagernden fluvioglazialen Randbildungen gliedern die Ablagerung so klar, daß man das Schwanken der Gletscherlänge auch hier zeitlich unterscheiden kann.

Ein wesentlich anderes Bild ergibt die Untersuchung des Baues einer großen vom Binneneis überzogenen Niederung. In beständiger Wiederholung und nebeneinander mit grundverschiedener Schichtenfolge lagern sich die blockreichen Geschiebemassen auf ausgewaschene Sandfelder und wenn man an einem Profil 2 oder 4 Blocklehme übereinander findet, so ergibt ein nahes Bohrloch vielleicht (Abb. 3) 6 oder 10 solcher Lager.

So entstehen am Eisrand interglaziale Profile mit einer beständigen Wiederholung nivaler und humider Bildungen, einem beständigen lokalen Wechsel des Wasserkreislaufes und einem ebenso häufigen Wechsel von einer eisfremden bodenständigen Flora mit der vor dem kalten Eisrand heran drängenden Pflanzenwelt. Was sich hier verändert, ist nicht das solare Klima des Eisrandgebietes, sondern die Schnee- und Eismassen der zentralen Region, aus denen die Eisdecken entspringen. Wenn der Rhonegletscher während der Diluvialzeit bis Martigny zurückschmolz und dann wieder bis Solothurn vordrang, so änderte sich nicht das Klima des Waadtlandes, sondern die Schneemenge der 150 km entfernten Furka, und wenn die nordischen Eiszungen viel größere Wanderungen unternahmen, wenn der Eisrand des Binneneises bald bis Jena vorrückte, bald sich bis zur Elbe zurückzog, dann änderte sich nicht das Klima von Thüringen, sondern die Eismauer verschob sich, weil das hier herrschende mildere Klima imstande war, die aus dem 1200 km entfernten Yötunhein langsam vorgeschobene Eisdecke hier endgültig zu schmelzen.

Ebenso wie der Nil bei Kairo im Herbst weite Flächen überschwemmt, obwohl es hier nicht regnet, sondern weil 2500 km davon entfernt große Regenmassen herabkommen, so wirkt sich bei den interglazialen Schwankungen des Eisrandes eine klimatische Ursache erst in riesiger Entfernung aus, und kein Anzeichen verrät uns auf norwegischem Boden, daß die Schneemengen in Lappland in wechselnder Stärke wuchsen, aus denen in Mitteldeutschland die interglazialen Profile entstanden.

Um uns ein Bild von den wesentlichen Eigenschaften einer polaren Eisdecke zu machen, ist das Nordpolargebiet ungeeignet, weil hier das Festland durch große und kleine Meeresflächen unterbrochen wird und daher überaus verwickelte Zustände entstehen. Um so reiner erkennen wir die Dimensionen eines rezenten Polargebietes in der antarktischen Region, wo ein einheitliches Festland aus tiefem Meere geschlossen aufragt. Wir sehen hier eine Fläche von 20—24 Breitengraden Durchmesser, mit einer einheitlichen Eisdecke überzogen, die von einzelnen Vulkanen und langgestreckten Kettengebirgen durchragt wird. Die Mächtigkeit der Eisdecke beträgt nach Meinardus am Rande rund 250 m, doch mag sie landeinwärts höher werden.

Dasselbe bewegt sich hier 150 m im Jahre und demnach muß die jährliche Niederschlagsmenge auf dem Binneneis nach Abzug der Verdunstungsgröße 4 cm betragen. Diese Ernährung ist aber nach v. Drygalski infolge der Beweglichkeit des Schnees keine gleichmäßige, so daß eisfreie neben schneefreien Flächen auftreten. Große Massen bestehen nicht aus Eis, sondern aus verkitteten Schneekörnern und ausgedehnte Abbrüche erhalten sich innerhalb der strömenden Eismassen sogar als bleibende Eisbreschen. Da sich das Eis von den Stellen vermehrten Zuwachses nach den Flächen größeren Schwundes bewegt, gleitet es nicht radial von einem Zentrum, oder linear wie ein Gletscherstrom, sondern wie ein in Strömungen wirbelndes Meer.

Indem sich das antarktische Eis nach der Küste bewegt, verwandelt es sich zunächst in den Schelfeisgürtel, dann löst es sich in treibende Eisschollen und Eisberge auf.

Die Breite der antarktischen Eisbergdrift und die tiefen Buchten, mit denen das Weddelmeer und Roßmeer 5—10 Breitengrade in die sonst nahezu geschlossene Eiskappe eindringen, beweisen auf das deutlichste, daß dieselben auf einem ausgedehnteren Polarland noch weiter reichen würden und man wird nicht fehl gehen in der Annahme, daß sich auf unbegrenzter festländischer Unterlage eine polare Eisdecke bis zum 60. Grad ausdehnen, also einen Durchmesser von mehr als 3000 km erreichen kann.

Außerhalb des Eisrandes bilden sich unter dessen abkühlendem Einfluß bald nivale Inseln aus, auf denen ebenfalls der Kreislauf der Vadose zu Gletschererscheinungen führt. Solche sind aber wieder an die Vorherrschaft des trockenen Landes gebunden. Denn eine ozeanische Vulkaninsel steht allzusehr unter dem isonomen ausgleichenden Einfluß des umgebenden Meeres.

Dagegen wirkt jedes Bergland auf dem extraglazialen Gebiet schneebildend und bald gleiten aus seinen windgeschützten Senken kleine Gletscher hervor. Je stärker der abkühlende Einfluß der großen Eisdecke wird, desto länger werden die Eisströme. Aber wenn schon das

heutige stabile Klima die Alpengletscher hier vortreibt, dort zurückschmilzt, um wie labiler muß deren Länge gewesen sein, solange das bis zur Poebene reichende warme Klima in beständigem Ringen mit dem Nebelklima Nordeuropas stand.

Wenn wir auf unserer Karte (Taf II S. 448) die Verbreitung der gewaltigen nordischen Eisdecke mit den kleinen alpinen Talgletschern vergleichen, dann wird es sofort verständlich, daß diese nur als klimatische Folgewirkung der im Norden sich ausdehnenden Eisfelder entstanden sind.

So konnten Penck und Brückner in den Westalpen große wiederholte Schwankungen der Gletscherlänge nachweisen, deren Urbild in dem Moränenbau der norddeutschen Diluvialmasse kaum wiederzuerkennen ist.

Wir betrachten also das Klima des extraglazialen Gebietes als bodenständige Erscheinung und sehen in den Invasionen der Eisdecke bodenfremde Kräfte, welche wohl imstande sind, die dort wachsende Flora zu vernichten und die von ihr lebende Fauna zu verdrängen. Aber sobald der eisige Fremdling wieder verschwindet, stellt sich auch auf der von einer milden Sonne beschienenen Fläche wieder das örtliche Klima und die einheimische Lebewelt ein.

So fügt sich die präglaziale, interglaziale und postglaziale Lebewelt in eine Reihe bodenständiger Erscheinungen ein, die immer wieder vernichtet, aber infolge der unbesiegbaren Kräfte des organischen Lebens ebenso oft wiederhergestellt wurde.

Unter dem Eis wird alles Leben zerstört, und so lange das Eis vordringt, bedingt es eine solche Unterkühlung der Atmosphäre, daß in seinem Randgebiet größere Mengen Schnee fallen, Glatteis entsteht und der Boden friert. Kein Wunder, daß die periglazialen Trabanten des Eises, die Zwergbirken und Polarweiden mit dem vorwärtsschreitenden Eis ihre Wohnsitze vordrängen. Der Wald wird gelichtet, das Unterholz stirbt, die ihn belebenden Tiere finden, wenn sie nicht weite Wanderungen unternehmen, keine Nahrung. So ziehen sie ruhelos umher, begegnen sich mit den Bewohnern der Tundra und den Tieren der Steppe, sammeln sich an jeder warmen Quelle (Taubach-Ehringsdorf), an jedem offenen Wasserbecken (Rabutz) und werden hier entweder eine Beute der Urmenschen oder versinken entkräftet im schlammigen Ufer des Stausees. Aber noch halten sich blumenreiche Sümpfe im hartumstrittenen Wechselgebiet, wo die Elephanten auf der frierenden Moordecke einbrechen und versinken, wo Torflager auf altem Moränenboden entstanden und von vordringenden Eislappen überschritten werden. Die Wirbelbewegung des Binneneises läßt große eisfreie Inseln offen, die dann wieder vom Eis überquollen werden, Schmelzwasser und Eis kämpfen um die Lockermassen und formen daraus geschichtete Interglazialprofile oder ungeschichteten Geschiebelehm. Und das alles bildet sich auf demselben

Boden auf dem vorher eine warme Flora gelebt hatte, aus der dann durch Kälteauslese die interglaziale Flora entstand und die endlich in der artenarmen Postglazialform sich wieder einstellt.

Der Einfluß der festländischen Gletscher auf die Meeresfauna ist gering, denn die Schmelzwasser erwärmen sich auf ihrem Weiterweg. Dagegen begünstigen die im Meer tauenden Eisberge den Wasseraustausch des Ozeans und tragen nahrungsreiches Wasser in die tieferen Becken hinab.

Eine allgemeine Wirkung des nivalen Kreislaufes ist die Verminderung der flüssigen Vadose, also ein Sinken des Meeresspiegels und Trockenlegung flacher Litoralgebiete.

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen wollen wir versuchen, deren Ergebnisse auf die geologisch bekannten Schneezeiten der Vorzeit anzuwenden, nicht um deren Erscheinungen monodynamisch zu erklären, sondern um durch den Vergleich der verschiedenen Wirkungen das polydynamische Wechselspiel der Ursachen zu erkennen.

Die diluviale Schneezeit ist der Ausgangspunkt des ganzen Problems gewesen, und ihre glazialen Erscheinungen sind so gründlich untersucht, daß man glauben sollte, auf diesem Gebiet wäre jede weitere Arbeit überflüssig. Allein, gerade die bis in alle Einzelheiten gehende Giederung der glazialen und fluvioglazialen Ablagerungen hat es verhindert, daß die gleichzeitigen geologischen Vorgänge außerhalb der Eisdecke ebenso objektiv geprüft worden sind. Indem man in den afrikanischen Wüsten und im tropischen Urwald nach Wirkungen des nordischen Eises suchte, übersah man die ganz anders gearteten diluvialen Bildungen, die hier gleichzeitig unter anderen Breiten entstanden sind.

Ich habe auf meinen Reisen Gelegenheit genommen, gerade die diluvialen Erscheinungen im ariden und pluvialen Gebiet zu untersuchen, und indem ich von diesem Standpunkt aus unsere nordischen nivalen Bildungen betrachtete, hat sich in mir ein Bild der Diluvialzeit ausgestaltet, das in manchen Punkten von dem abweicht, das man nur beim Studium europäischer Profile gewinnt.

Zuerst erhebt sich die Frage, ob die diluvialen Eisdecken innerhalb des heutigen Polarkreises gebildet worden sind, oder ob ihre Ausdehnung auf eine andere Lage des Poles hindeutet. Auf der Karte Taf. II habe ich versucht, die Verbreitung derselben in Nordeuropa darzustellen. Sie läßt zunächst die ungeheure Ausdehnung der nordischen Eisdecke gegenüber den minimalen alpinen Gletschern deutlich erkennen. Aber es kommt auf ihr nicht das Fehlen der Eisdecken auf dem asiatischen Kontinent innerhalb des Polarkreises zum Ausdruck. Nur eine Polarkarte kann die ungemein wichtige Tatsache klarlegen, daß zwar Nordeuropa und Nordamerika vereist waren, daß aber ganz Sibirien und sogar die Nordhälfte von Alaska eisfrei gewesen sein muß. Da die

bekannten Fundstellen von E. primigenius gerade auf diesen nie vereisten Gebieten liegen, bieten sie ein besonders schwieriges Problem.

Schließt man den Polarkreis um einen im mittleren Grönland liegenden Polpunkt, dann wird das Fehlen der Eisdecke in Sibirien leichter verständlich. Wenn man berücksichtigt, daß nach den Forschungen von Nansen, das den heutigen Pol bedeckende Meer durch eine postdiluviale Transgression entstanden ist, und daß die Otolithen von Flachseefischen hier in abnorm tiefem Wasser gefunden werden, dann könnte man wohl erklären, weshalb sich die Eisdecken nicht gegen Sibirien ausdehnten.

Der Charakter der in interglazialen Zwischenschichten auftretenden Flora, ebenso wie die im Schlund eines sibirischen Mammuts, oder in der Umgebung des Mammut von Borna gefundenen Blütenpflanzen, zeigt klar, daß dieses ein Bewohner blumenreicher Waldwiesen war, und nur deshalb bis an den Eisrand wanderte, weil die nordischen Eisdecken auf ein klimatisch bodenfremdes Gebiet unaufhaltsam vordrangen. So gelangten auch die extraglazialen Moore als interglaziale Torflager mitten zwischen die Decken der glazialen Blocklehme.

Aber eine viel merkwürdigere Wechsellagerung glazialer Ablagerungen und extraglazialer gleichalteriger Lager finden wir am Südrand der Alpen. Die von Penck und Brückner nachgewiesenen roten Verwitterungsdecken (Feretto) sind nach Lagerung und Entstehung von den diluvialen Lateritdecken der Tropen nicht zu unterscheiden. Freilich sind die meisten derselben der postglazialen Abtragung zum Opfer gefallen. Als roten Staub hat sie der Wind über das ganze Mittelmeergebiet verbreitet, Regengüsse haben sie in allen Spalten gesammelt, und während sie unter einem humiden Klima rasch in braunen Lehm verwandelt wurden, zeigen sie auf aridem Karstgebiet noch heute die roten ursprünglichen Farben der „terra rossa".

Das diluviale Klima hat in Nordafrika seltsame Wüstenerscheinungen hinterlassen. Riesige Sandmeere sind entstanden, gewaltige Oasenkessel wurden durch Deflation ausgehoben, seltene Ruckregen bildeten mächtige Kiesterrassen am Ausgang der Trockentäler. Der Nil verdampfte zwischen Assiut und Luxor in einem riesigen Endsee, an dessen Felsenufer die Steinwerkzeuge uralter Völker im Sinterkalk eingefügt sind; erst nach der Diluvialzeit vermochte der Strom die letzte Wüstenstrecke bis Kairo zu durchschreiten und sein Wasser bis zum Meere zu tragen.

Schon auf der Höhe des lybischen Plateaus begegnen uns im Kalkgebirge lateritische Konglomerate; unter der braunen Eisenrinde Nubiens leuchtet vielfach die karminrote Verwitterungsdecke hervor; zwischen Atbara und Singat beobachten wir lateritische Unterdecken bis 1000 m hoch nach dem äthiopischen Gebirge hinauf, und bei Shellal, oberhalb des Katarakts von Assuan sind ältere Nilschotter mit kopfgroßen Geröllen

10 m über dem heutigen Strom in mächtigen Profilen aufgeschlossen, die lateritisch so verwittert sind, daß man die Gerölle mit dem Messer schneiden kann. Bohrproben aus der sudanischen Ebene im Gordon-College zu Khartum und Aufschlüsse bei Omdurman zeigen, daß hier überall unter dem alluvialen grauen Nilschlamm rote Verwitterungsdecken verbreitet sind.

Beobachten wir weiter durch Ostindien, vom 2000 m hohen Gebirgsland in Sikkim bis zur Südspitze von Ceylon, reisen wir über Sabang und Singapur nach Java, überschreiten wir den Äquator und verfolgen in Australien die jüngsten geologischen Ereignisse von den prächtigen Aufschlüssen des Tropen- und Wüstenlandes bis nach der Südküste von Viktoria — überall finden wir diluviale Laterite und die aus ihrer Zerstörung noch heute entstehenden roten Böden. So kann es für mich kein Zweifel sein, daß alle tropischen Laterite nicht dem heutigen Klima ihre Entstehung verdanken, sondern fossile Überreste eines anders gearteten diluvialen Klimas sein müssen.

Weder die nordischen Blocklehme, noch die Wechsellagerung derselben mit den interglazialen Bildungen, sondern die Tatsche, daß in den heutigen Tropen der Laterit überall fossil ist, scheint mir ein zwingender Grund dafür, daß die Diluvialerscheinungen nicht durch relative Änderungen der Klimagürtel, eine andere Richtung des Golfstromes oder durch allgemeine Hebungen der nördlichen Länder erklärt werden können, sondern unter klimatischen Umständen zustande kamen, die man heute nicht mehr in gleicher Weise findet.

Auch muß die Ursache der diluvialen Vereisung in denselben Bedingungen gesucht werden, welche gleichzeitig die diluvialen Laterite erzeugten, und diese Ursachen konnten nicht terrestrischen Ursprungs sein, sondern hingen mit der Quelle aller irdischen Klimaerscheinungen: der Sonnenstrahlung zusammen.

Es galt seit den Untersuchungen von F. v. Richthofen und Pechuel-Lösche in Deutschland als ausgemacht, daß die roten Verwitterungsdecken des Tropenlandes, deren petrographische Mannigfaltigkeit mit dem Sammelnamen „Laterit" bezeichnet wird, eine rezente Erscheinung seien. Ich selbst trat im Jahre 1888 eine Reise nach Ostindien an, um die ursächlichen Zusammenhänge zwischen Laterit und Tropenklima zu studieren. Trotzdem ich hierbei viele Tatsachen beobachtete, welche damit nicht recht in Einklang zu bringen waren, so zweifelte ich doch nicht an der Richtigkeit jener Lehre und habe sie auch in meinen Schriften vertreten, bis ich mich endlich 1914 in Australien überzeugte, daß der Laterit unabhängig von dem heutigen Klima sei und seit seiner Entstehungszeit so stark von Verwerfungen durchsetzt, von Tälern zerschnitten und durch weite Denudationslücken so sehr zerteilt worden ist, daß er nur, wie dies die britisch-indischen Geologen schon längst er-

kannt hatten, als eine fossile Bildung betrachtet werden darf. Wenn dieselbe Lateritdecke bei

Armadale . .	unter	32°	S. Br.	und	bei	150 m	Meereshöhe
Kukeiny . .	„	29°	„	„	„	500 m	„
Palmerston . .	„	12°	„	„	„	15 m	„
Buitenzorg . .	„	6°	„	„	„	300 m	„
Singapur . .	„	1°	N. Br.	„	„	10 m	„
Mt. Lavinia .	„	7°	„	„	„	20 m	„
Trichinopoly .	„	11°	„	„	„	200 m	„
Bombay . . .	„	19°	„	„	„	20 m	„
Puna	„	18°	„	„	„	1000 m	„
Dardjiling . .	„	29°	„	„	„	2400 m	„

auftritt, wenn ihre hochrote Farbe in allen regenreicheren Gegenden von oben herein gelb oder braun verfärbt erscheint, während sie in allen ariden Gebieten ihr ursprüngliches leuchtendes Rot erhalten hat, dann kann es keinem Zweifel unterliegen, daß sich im regenreichen Tropenland der Gegenwart kein Laterit bilden kann. Wenn aber nördlich von Madras Steinwerkzeuge im festen Laterit eingeschlossen sind, dann kann seine Bildung nicht älter als diluvial sein.

Wenn wir die vielfach durch Denudationslücken unterbrochenen Lateritgebiete durch ganz Zentralafrika verfolgen, wenn uns sogar am Fuß des Tafelberges wieder eine ältere rote Lateritdecke entgegenleuchtet, dann schließen sich alle diese Tatsachen zu dem einheitlichen Ergebnis, daß der Laterit die tropische Fazies des diluvialen nordischen Geschiebelehms ist.

Der klimatische lithologische Vorgang, der zur Bildung von Ferretto und Laterit führt, läßt sich am besten folgendermaßen charakterisieren: Große Mengen von Niederschlägen wirken durch Einwitterung zersetzend und lösend auf die anstehenden Gesteine ein. Die in eisenreichen Silikatgesteinen enteisente und entkieselte Zone erreicht eine Mächtigkeit bis zu 25 m, dringt aber in zerklüftetem Gestein und an Spaltenzügen bis 250 m Tiefe. Die hierbei gelösten Eisensalze werden durch Auswitterung nach oben befördert, um sich als mehr oder weniger geschlossene Eisenkrusten hier wieder abzusetzen. Die Zerwitterung einer so mächtigen Zone kann nur durch einen beständigen Wechsel von Zeiten großer, warmer Niederschläge und starker Verdunstung des Grundwassers erklärt werden und so kommen wir zur Annahme eines diluvialen Tropenklimas, bei dem die Temperatur und die mittlere Höhe der Niederschläge mit den rezenten Verhältnissen übereinstimmt, das aber in dem Sinne als antinom bezeichnet werden muß, als diese Niederschläge in einer kurzen Frist fallen und von einer langen heißen Trockenzeit unterbrochen waren. Das heutige Klima von Nordwestaustralien, wo bei einer mittleren Jahrestemperatur von 27° C etwa 150 cm Niederschläge innerhalb

von 2 Monaten fallen, dürfte, wenn wir uns seine Elemente noch kontrastreicher vorstellen, solche Wirkungen leicht erklären.

Im Gegensatz zu der geschlossenen, durch kein driftfreies Gebiet unterbrochen vereisten Fläche Nordeuropas zeigt das nordamerikanische Binneneis eine große Region (driftless area), welche von den kanadischen Eisdecken nicht überschritten wurde. Aber die wechselnde Zahl (3—10) von Blocklehmdecken, läßt, wie meine Karte (Abb. 3) in Norddeutschland zeigt, erkennen, wie regellos sich die einzelnen Eiswirbel überschoben und wechselnde Profile aufbauten. Man hat sich neuerdings geeinigt, die Mannigfaltigkeit norddeutscher Glazialprofile in ein Schema von 3 Eiszeiten einzuordnen, aber wenn auch am Rand der großen Binneneisdecke die Zahl der Geschiebelehme von 1—3 zunimmt, so stößt eine durchgehende Gleichstellung derselben noch immer auf große Schwierigkeiten.

Einfacher gestaltet sich das erdgeschichtliche Bild der alpinen Vereisungen. Die Zunahme der Gletscher von Osten nach Westen spricht dafür, daß östliche Winde die Schneemassen über die Alpengrate trieben, bis sie sich im Windschutz sammelten. Die Untersuchungen von A. Penck haben hier einen viermaligen Vorstoß der Gletscher nachgewiesen, der von 3 Schmelzperioden unterbrochen war. So entstanden am Ausgang der größeren Täler gutgegliederte Schotterterrassen, die sich auch mehr oder weniger gut längs der Schmelzwasser ins Vorland verfolgen lassen. Das im Voralpengebiet herrschende milde Klima wurde durch die sich ausdehnenden Gletscher verschlechtert, kehrte aber immer wieder, sobald sich die Eisströme in die inneren Täler zurückzogen. Daher bergen die interglazialen Ablagerungen eine Flora von extraglazialem Charakter.

Wenn bei den interglazialen Schmelzperioden am Rand des nordischen Eises ein eisfreier Rand bloßgelegt wurde, dann konnte die Deflation jedesmal große Mengen von Staub herausblasen, die sich an geeigneten Stellen auf den Blocklehm legten. Diese feinkörnigen Ablagerungen (ältere interglaziale Löße) sind meist von geringer Mächtigkeit, bestehen aus verschiedenartigem Material und haben nur örtliche Bedeutung.

Ganz andere Wirkungen hatte das endgültige Schmelzen der nordischen Eisdecke. Deutlich lassen sich die Stadien des Rückzugs an langgestreckten Blockwällen verfolgen, die vorübergehenden Stillstandslagen entsprechen. Besonders interessant ist die durch Geinitz nachgewiesene letzte Ausdehnung des baltischen Eisstromes, der bei Bornholm umbog und seine Schmelzwasser in nördlicher Richtung gegen die norwegische Rinne entsandte.

Unter den Folgeerscheinungen der diluvialen Schneezeit verdient der feinstaubige Absatz des postglazialen „echten" Löß eine besondere Behandlung, der eine so einzigartige, um die ganze Nordhalbkugel verbreitete Bildung ist, daß die Zeit und Umstände seiner Entstehung lange und eingehende Diskussionen veranlaßt haben.

Als F. von Richthofen die ihm vom Rheinland so wohlbekannten Lößprofile in viel größerer Ausdehnung und Mächtigkeit in den ariden Halbwüsten Innerasiens wiederfand, wo trockene Winde das feine Staubmaterial überall aufheben und ruhelos hin- und hertreiben, kam er zu dem Schluß, daß das in Deutschland diluviale Gestein in China rezent sei, und daß es sich, wie heute in Innerasien, auch einst in Deutschland aus trockener staubreicher Luft niedergeschlagen habe, festgehalten durch den Wurzelfilz der Steppenpflanzen. Diese lang bekämpfte Auffassung hat heute allgemeine Zustimmung gefunden. Aber seitdem ich in den Lößgebieten von Turkestan zahlreiche entgegenstehende Tatsachen kennen lernte, muß ich hier die Frage erneut prüfen, ob der asiatische Löß fossil ist und heute vom Wind nur noch umgelagert, aber nicht neu gebildet wird, sowie welche klimatischen Umstände ihn erzeugten.

Für mich kann es keinem Zweifel unterliegen, daß der asiatische Löß ebenso fossil ist, wie der deutsche. Die riesigen Denudationslücken, die tiefen Täler innerhalb der lößerfüllten Senken sind erst nach deren Ausfüllung mit dem feinkörnigen Sediment entstanden.

Der Löß ist in 20 m hohen Profilen aufgeschlossen, bald ungeschichtet, bald durch deutliche Schichtenfugen gegliedert, so daß man schon hierbei an die Mitwirkung von Wasser erinnert wird. Aber am auffallendsten sind die Einschaltungen von zahlreichen bis apfelgroßen Kalkgeröllen, die ich in einer 10 m hohen, langen Lößwand bei Kaaka, nahe der Ruinenstadt Chiviabad, im gelben Löß beobachtete. Denn diese Gerölle müssen durch dieselbe Transportkraft bewegt und abgelagert worden sein, welche auch den umhüllenden Löß gebildet hat.

Die erste und auffallendste Eigenschaft ist seine gleichartige chemische Zusammensetzung. Nach Keilhack besteht er in Europa, ebenso wie in Nordamerika und Ostasien überall aus etwa 65% Kieselsäure und 20% Kalk. Es können also nicht lokale Umstände sein, die seine Zusammensetzung bedingten, sonst würde er in jedem geologisch anderen Gebiet auch aus anderen Stoffen bestehen und bald kalkreicher, bald tonreicher oder quarzreicher sein.

Besonders wertvoll sind neuere Untersuchungen von G. Anderson über den chinesischen Löß, der mit geschichteten roten Lettenmassen beginnt, die auf einen Lateritstaub hindeuten, der erst nachträglich in Gelberde verwandelt wurde. Auch Merzbacher hat die auffallende Schichtung im Liegenden des turkmenischen Löß betont.

Ebenso wunderbar ist das gleichartig feine Korn. Es gibt kein einziges festländisches Gestein und sehr wenige marine Ablagerungen, die bei großer horizontaler Verbreitung in allen Aufschlüssen vom Liegenden zum Hangenden keinen Wechsel in der Korngröße erkennen ließen. Aber selbst wenn Lößprofile geschichtet sind, entsteht die

Schichtung nicht durch Einschaltung von Sandschichten, sondern löst innerhalb des gleichkörnigen Sediments nur einzelne Bänke voneinander ab, deren Oberkante augenscheinlich etwas tonhaltiger ist und daher die Auswitterung des Bodenwassers begünstigt. Diese einheitliche feinste Korngröße kann unmöglich erst während des Niederschlags entstanden sein, und da das die Erdoberfläche bedeckende Lockermaterial sehr verschiedenartig war, muß die Sortierung und Auslese innerhalb der Atmosphäre erfolgt sein. Nur die Deflation des Windes kann den Lößstaub aus anderen Verwitterungsmassen ausgelesen und so gleichmäßig sortiert haben — in diesem Punkte stimme ich mit F. von Richthofen vollkommen überein.

Da das Abschmelzen der Eisdecken auf der ganzen Nordhalbkugel gleichzeitig erfolgte, und mit einer allgemeinen Änderung des solaren Klimas zusammenhing, wurden so unermeßliche Landstrecken der nördlichen Halbkugel von Schnee- und Eisdecken befreit, daß auf ihnen die Deflation ungeheure Wirkungen ausübte. Größere Steine wurden frei geblasen, scharfkantiger Quarzsand bildete weite Sandfelder und wurde von heftigen Stürmen über jene hinweggefegt. So entstanden Windkanter, zerschnittene Windkarren und glattgeschliffene Flächen auf dem Felsenboden. Leichtere Sandkörner wurden zu Dünen aufgeschüttet, die bis heute ihre Sichelform erhalten haben, und das feinste Staubmaterial wirbelte hoch in die Luft. Hier geschah mit zunehmender Höhe eine immer weitergehende Saigerung, und endlich mischten sich die durch ihr Gewicht (Kalkstaub) oder ihre Gestalt (Quarzsplitter) besonders gut schwebenden Elemente zu einer feinen Dunstwolke, welche in der Höhe der Atmosphäre die Erdkugel wie ein Planetenring umgab.

Als nach dem Ausbruch des Krakatau im Jahre 1883 eine ungeheure Wolke vulkanischer Asche 10 km in die Höhe getrieben wurde, aus der alle schwereren Bestandteile in der Sundasee nahe dem Äquator niederfielen, wurden die feinsten Staubaschen langsam nach dem 40—60° N. Br. bewegt und rotierten hier in einem Staubring zwei Jahre um den Erdball. Sie erzeugten die wunderbaren Dämmerungserscheinungen, die man damals von Neapel bis Stockholm jeden Abend bewunderte. Wenn auch diese Lufttrübe der höchsten Luftschichten nicht dicht genug war, um bei ihrem Heruntersinken einen ebenso breiten Gürtel von vulkanischer Asche um die nördliche Halbkugel zu legen, so läßt uns doch dieser Vorgang begreifen, wie es möglich war, daß ein ähnlicher aber viel dichterer Gürtel von Lößstaub am Schluß der Diluvialzeit entstand.

Die Geschichte des afrikanischen Staubnebels, der im März 1901 über Tunis, Sizilien, Italien, Österreich und Deutschland bis nach Dänemark vordrang und dann meist trocken herabsank, aber bei Neapel als „Blutregen“, in den Alpen sogar als rötlicher Schnee fiel, ist ungemein lehrreich für das Verständnis des weiteren Schicksals jenes saturnähn-

lichen Staubrings, der nach dem Schmelzen der europäischen, asiatischen und nordamerikanischen Eisdecken auf dem kahlen Moränenboden und in den von ihren schlammigen Schmelzmassen bedeckten Niederungen aufgehoben und bis in die höchsten Höhen der Atmosphäre emporgetragen worden war.

Jahrzehntelang schwebte vielleicht das Gesteinspulver in der Höhe und wurde hier beständig durcheinandergemischt; dann aber senkte sich der postdiluviale Staubnebel zur Erde, glitt als breiartiges Schmutzwasser von den Höhen nach den Niederungen und häufte sich zu mehr oder minder mächtigen ungeschichteten oder gebänderten, fossilleeren Tonlagern auf, in denen wohl die Wurzelröhren einer vergänglichen Flora, aber kein einziger oberirdischer Rest derselben erhalten blieb; nur gelegentlich sehen wir die von den Höhen zusammengeschwemmten Landschnecken oder die Knochen verendeter Großtiere.

Das feine Pulver fiel keineswegs überall als lufttrockener Staub herab, sondern jeder Regentropfen und jede Schneeflocke brachte eine gewisse Menge Lufttrübe mit sich. Nach Mitteilungen von Pfizenmeyer trat in der ostsibirischen Tundra jeden Abend gegen 6 Uhr bei Nordwind ein solches Treiben von schmutzhaltigem Schnee auf, daß nach dem Schneesturme die Zeltwände und Kleider mit dicker Lehmrinde bedeckt waren. So sieht man hier noch heute den Vorgang sich vollziehen, der am Rande der diluvialen Eisdecke die Lößlager erzeugte. Schlammige Wasserflächen bewegten sich von den Höhen der Berge nach ihren Abhängen und die trockenen Senken füllten sich mit mächtigem feinkörnigen Brei, der nur selten in deutliche Schichten gegliedert wurde, weil die in der Atmosphäre erfolgte Staubmischung so gleichkörnig war, daß eine Möglichkeit der Schichtenbildung trotz der Mitwirkung des Wassers nicht bestand. Die Kalkgerölle im Löß von Turkestan können nur in solchem Lößschlamm bewegt und aufbereitet worden sein.

Inwieweit ein gewisser Salzgehalt diese Schlammablagerungen befestigte, oder ob ihre Feinkörnigkeit ausreichte, um deren Oberfläche zu binden, ist eine offene Frage — jedenfalls ist der Luftstaub zwar durch Deflation entstanden, aber dann unter Mitwirkung von Schnee und Regenwasser niedergeschlagen worden.

Keilhack hat die Frage aufgeworfen, warum auf der Südhalbkugel ein ähnlicher Lößgürtel fehlt? Zunächst müssen wir darauf antworten, daß der Löß ebenso wie der Blocklehm eine Bildung ist, deren Anfangs- und Endstadien nur auf trockenem Lande stattfinden konnten. Je größere Landflächen am Schluß der diluvialen Schneezeit eisfrei wurden, desto mehr feinster Lößstaub konnte vom Wind aufgehoben werden. Auf der vorwiegend vom Meere bedeckten Südhalbkugel, wo die Grenze des Landes ungefähr durch den Polarkreis bestimmt wird, ist nur ge-

ringe Möglichkeit für die Entstehung eines Staubrings in der Höhe der Atmosphäre.

Aber selbst wenn ein solcher Staubring, den Gürtel des Tropengebietes bedeckend, bis in die Breiten der Südhalbkugel gereicht hätte, in denen auf der nördlichen Halbkugel dann die Lößdecken niedergeschlagen wurden, so wäre zwischen dem 45.° und 55.° weder in Australien noch in Südafrika eine landfeste Fläche gewesen, welche diese Decken aufnehmen konnte. Nur Südamerika reicht bis in die Breiten der Ostsee, und hier erinnern die weitverbreiteten Pampaslehme an ähnliche Bildungsumstände.

Da es kein einziges deutsches Profil gibt, in welchem eine mächtigere Lößablagerung zwischen zwei Geschiebelehmen beobachtet wurde, ziehe ich den Schluß, daß der eigentliche Löß postglazial ist; und da in Innerasien lithologisch ein völlig gleichartiger Löß fern von jedem Geschiebelehm gerade seine riesigste Verbreitung und größte Mächtigkeit erreicht, können wir den Löß nicht unter die Bildungen rechnen, die notwendig mit den glazialen Vorstoßerscheinungen großer Eisdecken verknüpft sind.

Nicht die Steppe hat den Löß erzeugt, sondern umgekehrt hat die Auskleidung des spätglazialen Hügellandes durch schlammführende Regengüsse die vielen Ebenheiten aus durchlässigem Lößboden geschaffen und die Ansiedelung der Steppenpflanzen erst ermöglicht. Wenn schließlich unter deren Einfluß die Oberschicht der Lößlager schwarzgefärbt und in Tschernosjom verwandelt wurde, so beendete diese Bildung die wechselvolle Geschichte der Spätdiluvialzeit. Wäre die Bildung der Schwarzerde ein mit der Lößbildung gleichzeitiger Vorgang, so müßten in mächtigen Lößlagern auf erster Lagerstätte immer wieder Schwarzerdehorizonte eingeschaltet sein.

Mit den Steppenpflanzen aber wanderten dann die grasfressenden Saigaantilopen aus Sibirien nach Deutschland, Frankreich und gelangten sogar über den damals noch landfesten Kanal nach England, wo unzweifelhafte Reste im Themsetal gefunden wurden.

Genau wie im nördlichen Atlantik und Pazifik mußte auch im Süden ein Teil des aus Kiesel und Kalkstaub bestehenden Staubnebels ins Meer fallen, und da die fein verteilten Stäubchen wegen ihrer großen Oberfläche leichter löslich waren, fanden hier kieselabscheidende Organismen verhältnismäßig günstige Lebensbedingungen. Es ist auffallend, daß sowohl um den antarktischen Eisrand ebenso wie im nördlichen Pazifik ein Gürtel von Diatomeenschlamm den Meeresboden der Tiefsee bedeckt, und es erscheint naheliegend, in diesen organisch ausgeschiedenen Kieselpanzern planktonischer Meerespflanzen eine Wirkung derselben Ursache zu sehen, die auf den benachbarten Festländern den Gürtel der postglazialen Lößablagerung erzeugte.

Wenn es, wie wir oben andeuteten, wahrscheinlich ist, daß der Pol während der größten Ausdehnung der nordischen Eisdecke etwa in der Mitte von Grönland lag, so mußten natürlich auch die anderen Klimagürtel gegen Sibirien nordwärts verschoben gewesen sein. Als Beleg für diese Auffassung erwähne ich, daß nach C. Schmidt am Nelgato-See unter 70° 30' große Larixwurzeln, 12 cm dicke Betula- und 18 cm dicke Alnusstämme zusammen mit E. primigenius 400 km nördlich von der heutigen Baumgrenze gefunden werden.

Nach Czersky sind Reste der Saigaantilope weit im Norden Sibiriens verbreitet, als Zeichen einer Verschiebung des Steppengürtels. Wenn endlich sogar die tropischen Lateritdecken bis nach Kaschgar reichen, dann schließen sich alle diluvialen Klimazonen harmonisch um einen gegen Grönland verlagerten Nordpol.

Der Südpol mußte sich, in entgegengesetzter Richtung wandernd, etwa unter 135° Länge und 75° S. Breite befunden haben. Unter diesen Umständen war es möglich, daß der schneespeichernde Einfluß des Südpolarkreises bis nach der Südinsel von Neuseeland, Tasmanien und sogar bis nach dem Mt. Kosciusco in Viktoria reichte. Tatsächlich finden wir nur auf diesen Stellen die deutlichen Spuren diluvialer Gletscher, während auf dem bei früheren Schneezeiten so stark vereisten Südaustralien keinerlei Zeichen derselben zu sehen sind.

Die biologischen Wirkungen der diluvialen Schneezeit auf dem Festland lassen sich leicht in drei Gruppen einteilen: Zunächst wurden zahlreiche festländische Lebewesen zu ausgedehnten Wanderungen veranlaßt, ohne daß sie ihre Artcharaktere einbüßten. Von den Pflanzen der Alpenwelt und der Polarlande, die ihre Standorte verließen und nachher wieder einnahmen, bis zu den osteuropäischen Steppengräsern, die vorübergehend nach Deutschland eindrangen, zu den Flußfischen, den zahlreichen Säugetieren und den Urmenschen ist kaum ein Geschlecht bodenständig geblieben.

Dann sind zahlreiche antediluviale Arten ausgestorben. Die Frage, welche Pflanzenarten während des Diluviums verschwunden sind, ist noch nicht genügend geprüft, um so zahlreicher sind die Fälle, daß jungtertiäre Säugetiere seitdem verschwanden.

Aber auch als Ursache neuer Entwicklungsweisen dürfen wir die lebenvernichtende Schneezeit betrachten, denn die Entstehung der Hominiden fällt in die Diluvialzeit hinein. Damit trat in den Kreis der irdischen Kräfte ein völlig neuer Faktor ein. Denn der Kulturmensch ist eine Art von so eigenartiger Begabung und so weittragenden Kräften, daß seine Leistungen an Macht und Geist alles übertreffen, was jemals ein organisches Wesen erzeugt hat. Bei der Ausrottung diluvialer und pliozäner Tierarten, bei der Erzeugung neuer Rassen und Varitäten, und bei weitgehenden Veränderungen der Verbreitungsgebiete von

Tieren und Pflanzen hat er seit seinem Auftreten eine stets wachsende Rolle gespielt.

Das große, von Ch. Darwin herausgearbeitete Problem läßt sich auf die Frage zurückführen: ist diese **rezente** „künstliche“ Auslese mit allen ihren artvernichtenden, artbildenden und artverbreitenden Folgen eine Teilerscheinung der natürlichen **fossilen** Auslese, bei welcher der Mensch noch nicht beteiligt war?

Auf jeden Fall ist es zweckmäßig, die biologischen Erscheinungen in der älteren Diluvialzeit, als der Mensch noch in den Anfängen seiner Entwicklung stand, von den postdiluvialen, durch den Mensch beeinflußten Veränderungen der Lebewelt scharf zu trennen.

Von allen biologischen Begleiterscheinungen des nordischen Diluviums hat keine so großes Interesse erweckt, wie das Auftreten des Mammut im sibirischen Eisboden, und obwohl wir schon mehrfach Gelegenheit genommmen haben, das Mammutproblem zu streifen, so mag doch eine kurze Übersicht der damit zusammenhängenden Tatsachen zeigen, wie irrige Ansichten weit verbreitet sind: E. primigenius tritt zuerst zusammen mit Mastodon, Hippopotamus und anderen neogenen Sumpftieren in Val d'Arno, bei Mosbach und Cromer auf. Es findet sich in diluvialen Ablagerungen zusammen mit E. antiquus, und kommt postdiluvial im ostsibirischen Bodeneis sowie auf der nie vergletscherten Nordhälfte von Alaska vor. Trotz großer Verschiedenheit der Rassen, die sich besonders in der Gestalt der Stoßzähne äußert, ist der Lamellenbau der Molaren in den genannten Fundorten so gleichartig und stimmt außerdem mit dem Zahnbau des rezenten E. indicus so vollkommen überein, daß man Grund hat, diese noch heute lebende Art mit E. primigenius zusammenzustellen. Versuche, die man in St. Petersburg mit dem geronnenen Blut eines Mammut anstellte, ergaben nach Pfizenmeyer die Blutverwandtschaft mit dem indischen Elephanten. Die Funde in Ostsibirien sind nach von Toll postdiluvial, und dieser berichtet, daß das Vorkommen von Weide, Birke, Erle mit großen Stämmen und Zweigen in der Umgebung der Mammutleichen so charakteristisch sei, daß jeder aufmerksame Elfenbeinsucher in der Nähe solcher subfossiler Pflanzenreste sehr auf die erhoffte gewinnbringende Beute rechnen könne, wenn er Stämme solcher dort nicht mehr gedeihender Pflanzen aus einem Uferabsturz hervorragen sieht. Dasselbe Bild eines milden Klimas bieten uns die Pflanzen, die in der Umgebung des Mammuts von Borna gefunden worden sind, und endlich die Blütenpflanzen, die man im Schlund eines Mammut als unverschlucktes Grasbündel entdeckte. Dieses Tier muß beim Weiden auf einer sumpfigen Waldwiese versunken und rasch ertrunken sein.

Der Mammut hatte dunkelbraune Haare, die durch die Einbettung im moorigen Boden entfärbt und fuchsig rot geworden sind, wie alle Haare von Leichen, die längere Zeit begraben waren.

Heute umgibt die sibirischen und alaskischen Kadaver gefrorener Boden, während zu Lebzeiten des E. primigenius dort armdicke Erlen und Blumen gediehen, und es muß daher eine *postglaziale Änderung des Klimas* hier eingetreten sein. Wenn der diluviale Pol in Grönland lag, so mußte die postdiluviale Wanderung desselben bis zu seinem heutigen Stand die Vereisung Ostsibiriens bedingen, welche aus obigen Tatsachen gefordert werden kann. —

In der ganzen Zeitspanne zwischen Diluvium und Perm fehlen auffallenderweise alle Spuren polarer Eisdecken. Man hat diese Tatsache meist so verstanden, daß sich die „Klimazonen“ erst am Schluß der Pliozänzeit herausgebildet hätten. Aber wir haben das Unsinnige einer solchen Auffassung schon hervorgehoben. Es bleibt also, sofern es nicht noch gelingen sollte, mittelzeitliche glaziale Blocklehme zu finden, nur die Annahme übrig, daß *die Polgebiete während der Mittelzeit vom Meere transgrediert gewesen sind.* Eine auffallende Tatsache, deren biologische Tragweite uns im letzten Teil dieses Buches noch beschäftigen soll, würde darin ihre einfache Erklärung finden:

Immer deutlicher wird es, daß ungefähr an der Wende der Oberkreide und des Untertertiär eine antinome Periode tiefgreifender Verwitterung weite Flächen von Europa und Afrika beeinflußt hat. Die als „präoligozäne Abtragung“ von Philippi und anderen genau untersuchten Erscheinungen haben große Ähnlichkeit mit der diluvialen Laterisierung in den heutigen Tropen und haben bei der dann einsetzenden intensiven Abtragung alter Gebirgsrümpfe eine maßgebende Rolle gespielt. Ich glaube, daß wir hier eine Klimaperiode vor uns haben, aus der zwar die tropischen Laterite, nicht aber die gleichzeitigen polaren Glazialerscheinungen bekannt sind, weil zu jener Zeit die Drehungspole der Erde vom Meere transgrediert waren.

Indem wir uns zu der *permischen Schneezeit* wenden, haben wir es mit einem viel lückenvolleren Tatsachenmaterial zu tun. Große, tiefe Meere trennen die Fundorte der Blocklehme und eine Fülle fremdartiger Erscheinungen verändert das von der diluvialen Vereisung bekannte Bild.

Als man zunächst in Ostindien, dann in Südafrika und Australien Spuren einer älteren Vereisung entdeckte, war die Frage nach ihrem stratigraphischen Alter das wichtigste Problem. Die mit ihr verbundenen Productus-führenden marinen Gesteine ließen es offen, ob diese Schneezeit dem Karbon oder dem Perm einzuordnen wäre, bis neuere Untersuchungen ein permisches Alter bewiesen. Es ist aber nicht richtig, wenn man von einer „permokarbonen“ Eiszeit spricht (ebensowenig wie man von einer „Vereisung der südlichen Halbkugel“ sprechen darf, denn die ostindischen Fundorte liegen unter 28° N. Br.); denn wenn in der englischen Literatur vielfach die Bezeichnung „permocarboniferous“ ge-

braucht wird, so bedeutet das nicht etwa eine Übergangszeit des „Permokarbon“, sondern steinkohlenführendes Perm.

Die Ablagerungen der permischen Schneezeit bestehen aus mächtigen bodenfremden Blocklehmen (Tillit), deren Unterlage oft ausgezeichnet geschrammt ist, während zahlreiche geschliffene, oft gewaltige Geschiebe (vgl. Taf. I, 3, 4) die Richtung der Eisbewegung er-

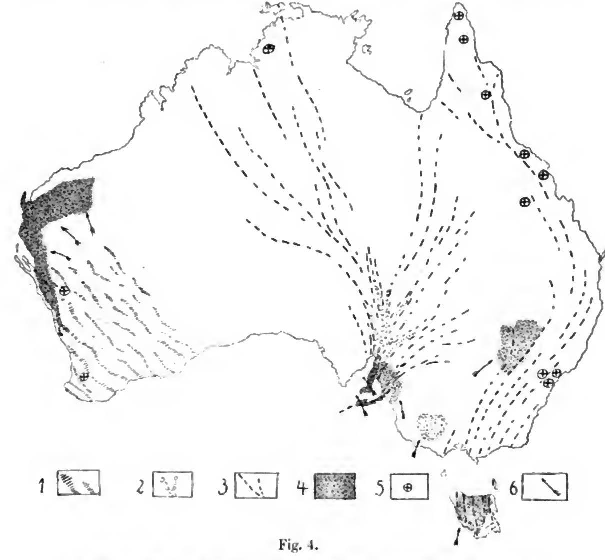


Fig. 4.

Die Spuren der algonkischen und permischen Schneezeit in Australien.

1 Präkambrische Faltenzüge des westaustralischen Massivs.
2 Gefaltete algonkische Tillite und kambrische Archäocyathuskalke.
3 Streichen karbonischer Faltengebirge.
4 Permische Tillite.
5 Glossopteriskohlen.
6 Gleitrichtung permischer Eisdecken.

kennen lassen. Sie finden sich in Ostindien zunächst südöstlich des Indus zwischen 30.° und 26.° N. Br., dann in einem Gebiet zwischen 22° und 20° N. Br. Die Richtung der Eisbewegung kam von Süden.

Dann ist eine große Fläche längs der Westküste von Australien vom 25.° bis 32.° S. Br. mit Tilliten bedeckt; hier scheint das Eis von dem westaustralischen Massiv aus Südosten gekommen zu sein. Ein großer Eisfächer bedeckte Tasmanien, schritt über die Baßstraße und

drang gegen Nordosten und Nordwesten sich ausbreitend vom 44.° bis zum 32.° S. Br. vor (vgl. beistehende Karte Fig. 4).

Die südafrikanischen Tillite drangen nach Mitteilungen von du Toit von Westen und Norden gegen ein großes Wasserbecken, das den mittleren und östlichen Teil des Kaplandes bedeckte; ein Massiv in Rhodesia scheint die Heimat von mehreren Eisdecken gewesen zu sein. Spuren einer Vereisung kommen im Süden von Madagaskar vor und zwischen 20° und 30° S. Br. trug auch Südbrasilien große Eisdecken.

Die wichtigste Erscheinung bei dieser seltsamen Verbreitung eisgetragener Schuttmassen ist ihre Wechsellagerung mit marinen Gesteinen sowohl in Nordindien wie in Westaustralien. Soweit hier die Eisdecken bis zur Küste reichten, muß sich damals der Polarkreis ausgedehnt haben.

Dann müssen wir hervorheben, daß sich in Australien drei Tillite überlagern, daß also hier drei permische „Eiszeiten" unterschieden werden können.

Wie sich an die diluvialen Eisränder eine Zone anschließt, innerhalb deren durch den langen schneereichen Winter große Mengen von Rohhumus aufgespeichert wurden, so begleitet auch die permischen Tillite ein ausgedehnter Gürtel von Kohlenlagern, die mit denselben wechsellagern oder ihr Hangendes bilden. Der große australische Kontinent hat sie besonders gut erhalten und die Schichtenfolge in Neu-Südwales bei Newcastle unter 33° S. Br. bietet interessante Hinweise auf ihre Entstehung. Vom Liegenden nach oben beobachtet man im vereinfachten Profil:

100 m dunkelbraune Schiefertone mit zahlreichen gekritzten Geschieben, darunter devonische Quarzite mit Spirifera disjuncta, die im Westen bei Bathurst anstehen, dann ein Horizont mit Gangamopteris;

1200 m marine Schichten reich an Eurydesma cordata mit eingeschalteten andesitischen Tuffen und Lavadecken;

30—100 m Schieferton und Konglomerate mit einer Anzahl Kohlenflöze von 5—16 m Mächtigkeit und bituminösen Linsen. Viele Gangamopteris, aber Glossopteris noch spärlich. Daneben Noeggerathiopsis, Phyllotheca und Sphenopteris;

1500 m marine Schichten reich an Aviculopecten, Fenestella, Trachypora und Zaphrentis mit einer Zwischenschicht, in welcher zahlreiche gekritzte Geschiebe, darunter Blöcke von 1 Tonne Gewicht auftreten;

500—1600 m Sandsteine und Schiefertone mit Glossopteris, während Gangamopteris zurücktritt; darin unten 1—3 m; im Hangenden 1—9 m mächtige Kohlenflöze.

So wurden am Boden der riesigen ostaustralischen Sammelmulde während der Permzeit festländischer Schlamm, Sand und Gerölle mit

eingeschalteten mächtigen Torflagern, sowie marine fossilreiche Kalke, vulkanische Aschen und Laven wechsellagernd mit Grundmoränen-Material abgelagert, je nachdem sich die Grenzen dieser gleichzeitig entstehenden verschiedenen Fazies verschoben. Was uns die Profile von Newcastle in geschlossener Folge zeigen, das finden wir in anderen Teilen Australiens und Tasmaniens genau wie in Ostindien, Südafrika oder Brasilien in weniger vollständigen Profilen.

Bezeichnend für die Flora der in der Umgebung der permischen Eisdecken auftretenden Kohlen ist Glossopteris. Soweit ich gut erhaltene Exemplare in Australien untersuchen konnte, waren die Glossopteriden kriechende Gewächse, die auf ihrem im sumpfigen Lockerboden wachsenden Rhizom dichte Blattbüschel bildeten, welche sich rasch entwickelten und ebenso leicht abfielen, so daß zahlreiche Generationen von Blättern auf sinkendem Untergrund mächtige Kohlenlager erzeugten; ähnlich wie heute die viel kleineren Sphagnaceen zu hohen Torflagern Anlaß geben. Daß sie keine Farne waren, sondern eine besondere Pflanzenfamilie bildeten, geht aus ihrem Blattbau ebenso wie aus ihrer stratigraphischen Verbreitung hervor. Ihre Lebensweise und Organisation ist als eine Anpassung an die Nähe des Eisbodens zu betrachten, der Mangel eines Stammes und von größeren Blattrippen steht im Einklang mit den ungünstigen Lebensbedingungen ihrer Heimat.

Von den eisnahen Tundren im heutigen Tropengebiet Australiens verbreitet sich Glossopteris über ungeheure Gebiete bis nach Sibirien.

Wie der Laterit und die aus ihm entstehenden roten Letten, Roterden, Terra rossa sowie rote Sandmeere (Coromandelküste, Nefud und Kalahari) das zeitliche und klimatische Äquivalent der diluvialen polaren Eisdecken und ihrer randlichen Fluvioglazialgebilde sind, so verhalten sich die rotliegenden Trümmergesteine zu den glazialen Tilliten der Permzeit. Die lithologische Ähnlichkeit der beiden Schichtenfolgen ist so auffallend, daß wir an gleichartige Ursachen denken müssen.

Während wir noch mitten in den biologischen Auswirkungen der Diluvialzeit stehen, können wir die der permischen Schneezeit bei dem größeren Zeitabstand leicht überschauen und gewinnen dabei überaus interessante Einblicke in die nachhaltigen Folgen eines zunächst rein festländischen Vorgangs, der sich allmählich auch auf die marine Lebewelt überträgt.

Die biologischen Folgen der permischen Schneezeit äußerten sich zuerst in der grundsätzlichen Umgestaltung der festländischen Flora. Nachdem während der Devon- und Karbonzeit eine früher im Meer, dann in dem Brackwassergebiete der Ästuarien heimisch gewordene Flora von Gliederpflanzen (Pseudobornia, Sphenophyllen, Equiseten), Schuppengewächsen (Lepidodendren, Knorria), Siegelgewächsen (Sigillarien) und Farnblattgewächsen an den Flüssen entlang ins Festland eingedrungen

war und sich zu verbreiten begann, trat der große Klimawechsel ein, und alle diese blühenden Geschlechter gingen zugrunde. Die letzte Sigillarie (Pleuromeia) rettete sich in die Oasen der Buntsandsteinwüste, um dann unter den Fluten des Muschelkalkmeeres zu sterben.

Mit den karbonischen Landpflanzen starben die auf ihnen lebenden Urinsekten. Zahlreiche Gattungen der Paläodictyoptera, Protorthoptera, Protoblattoidea, Embidaria, Protodonata, Megasecoptera sind auf das Oberkarbon beschränkt, oder sterben im Perm aus, ohne direkte Nachkommen zu hinterlassen.

Ganz anders sind dagegen die Wirkungen auf die Meereswelt. Denn nach dem früher Gesagten mußte eine starke Abkühlung der polaren Meere lebhafteren Wasseraustausch und thermische Strömungen bedingen, welche meroplanktonische Larven weiter verbreiten und Wanderungen, Neubesiedelungen und Neubildungen von Familien und Ordnungen bedingen mußten. So beginnt die große Blüte zahlreicher neuer, besser angepaßter Tiergruppen, welche nach der großen Auslese durch die karbonischen Raubfische aus den übriggebliebenen Zweigen neue marine Formenkreise entstehen ließen. — Wir werden im letzten Teil dieses Buches auf diese Fragen noch zurückkommen.

Während des Karbon, Devon, Silur und Kambrium sind ausgedehnte Vereisungen nicht bekannt, wenigstens scheint mir eine stratigraphische Einordnung der aus diesen Zeitperioden erwähnten Tillite nicht bewiesen. Wohl aber stimmen zahlreiche Erwägungen und Beobachtungen dahin überein, daß in der vor dem Kambrium liegenden Zeit des Algonkium ausgedehnte Eisdecken in allen Kontinenten entstanden.

Die ältesten Funde stammen aus 70° N. Br. von der Murmanküste, wo zuerst Reusch, dann Strahan an der Basis eines grobkörnigen Sandsteins der Sparagmitstufe einen dunklen Blocklehm fand, erfüllt mit eckigen, gerundeten und gekritzten Geschieben. Er lagert auf einer geschliffenen Sandsteinbank, auf welcher 4—5 m lange Gletscherkritzen verfolgt werden können.

Im Liegenden des Unterkambrium von Nantou in China fand Willis am Yantsekiangufer unter 110° S. und 31° N. Br. braunrote Sandsteine, Arkosen und Konglomerate, die nach dem Hangenden entfärbt werden und über denen ein harter graugrüner Blocklehm von 36 m Mächtigkeit lagert. Zahlreiche Geschiebe von 50—75 cm Durchmesser sind eckig, entkantet oder deutlich geschliffen und gekritzt; bei Tungling erreicht der Tillit eine Mächtigkeit von 80 m.

Überraschend war die Entdeckung geschrammter Geschiebe im kristallinen Huron von Canada. Die Ausdehnung der geschiebeführenden Gneise im Norden der großen Seen und ihre Lage im Liegenden des Kambrium macht auch hier ein algonkisches Alter wahrscheinlich.

Die algonkischen Tillite in Südaustralien sind durch die Arbeiten von Howchin genau untersucht, wo sie im Kern karbonischer Faltensättel (s. Fig. 3 u. Taf. I, 1, 2) bei Adelaide prächtig aufgeschlossen, etwa 150 km weit nach Norden bis zum Flindersgebirge verfolgt werden können. Die durch interglaziale Schichten gegliederten Tillite beweisen, daß hier drei algonkische Eiszeiten aufgetreten sind. Sie werden überlagert von gegen 800 m roter Schiefer (ein lateritisches Sediment!) und dem durch seinen Fossilreichtum bekannten kambrischen Archaeocyathuskalk.

Ob die im Liegenden des böhmischen Kambrium auftretenden Konglomerate mit ihren bis 2 m großen Spilitblöcken eisgetragen abgelagert worden sind, vermag ich nicht zu entscheiden; doch sprechen manche Tatsachen dafür.

Da das vorkambrische Festland eine „Urwüste" in dem Sinne war, daß damals überhaupt noch keine Landwelt existierte, kann man biologische Wirkungen der präkambrischen Schneezeit nur in der Meereswelt erwarten und wir wollen später prüfen, inwieweit die Veränderung der kambrischen Tierwelt mit diesen Vorgängen zusammenhängen kann.

Als L. Agassiz um das Jahr 1840 seine Beobachtungen über die frühere Ausdehnung der alpinen Gletscher in den Gedanken einer allgemeinen „période glaciale" oder Eiszeit zusammenfaßte, dachte er an eine Art Glatteisbildung in allen den Tälern der Alpen, die einstmals von Eis bedeckt waren, und bestritt die von Venetz und Charpentier vertretene Auffassung, daß sich die noch heute existierenden kleinen Gletscher damals so weit ausgedehnt hätten. Diese Ansicht hat aber dann rasch allgemeine Zustimmung erhalten.

Der Kernpunkt dieses ältesten Kampfes um die Ursachen der Eiszeit lag darin, daß Venetz eine bodenfremde Ursache (die entlegene schneegefüllte Firnmulde), Agassiz eine bodenständige Temperaturerniedrigung (an der Stelle, wo die Gletscher endeten) annahm.

Eine neue Wendung erhielt das Diluvialproblem durch Ch. Lyell, der die Häufigkeit von Nordseeconchilien im ostenglischen Geschiebelehm durch eine marine Transgression, und die darin vorkommenden norwegischen Findlinge als die Fracht schwimmender Eisberge erklärte.

Durch eine kritiklose Verallgemeinerung übertrug man dann die englische „Drifttheorie" auf den norddeutschen Geschiebelehm, in dem zwar skandinavische Findlinge, aber nicht die diluvialen marinen Conchilien gefunden wurden. Als dann Torell 1879 zeigte, daß die Kalkfelsen von Rüdersdorf geschliffen und geschrammt seien, konnte man nicht mehr zweifeln, daß auch hier bodenfremde Eisdecken, deren klimatische Ursachen in den Schneemassen des nördlichen Skandinaviens lagen, bis nach Berlin vorgedrungen seien.

Seitdem aber hat das Wort „Eiszeit" immer mehr die Vorstellung befestigt, daß die Klimaursache an den Ort gebunden war, wo die Wirkung

der transgredierenden Eisdecke ihr Ende erreichte. So fußen alle Theorien über die „Ursachen der Eiszeit“ auf der Annahme, daß das von erratischen Erscheinungen bedeckte Land durch ein dort bodenständiges Klima eine niedrigere Temperatur als heute gehabt habe.

Zu einer andern Auffassung über das Klima der Eiszeit muß man aber kommen, wenn man bedenkt, daß Gletschereis nicht gefrorenes Wasser, sondern zusammengepreßter Schnee ist, und sein Augenmerk nicht allein auf die zirkumpolare glaziale und fluvioglaziale Fazies der Diluvialzeit richtet, sondern auch die diluvialen Erscheinungen der ariden Wüstenzone und des pluvialen Äquatorialgebietes vergleichend untersucht. Denn hier sieht man keine Eiswirkungen, wohl aber andere, überaus seltsame lithologische Erscheinungen: große Schuttmassen, ausgedehnte Verkrustungen, merkwürdige Vergipsungen, Wanderungen des Eisengehalts in der Lithose und endlich die auffallenden roten Laterite.

Würden diese Verwitterungserscheinungen der Gesteine nur im Diluvium auftreten, so könnte man an ein zufälliges Zusammentreffen mit den polaren Glazialerscheinungen denken. Allein wir sehen dieselbe Verknüpfung eisgetragener Blocklehme und lateritischer Gesteinsverwitterung in der permischen und algonkischen Zeit und kommen zu der Überzeugung, daß diese scheinbar so heterogenen Wirkungen von demselben Klima bedingt gewesen sein müssen.

Noch verwickelter aber wird das Glazialproblem, wenn wir bedenken, daß Firnschnee und Gletscher nur auf dem Festland entstehen können und sofort verschwinden, sobald das Polargebiet vom Meere transgrediert wird.

Der Gegensatz eines heißen Tropenlandes und eines kalten Polarlandes hat immer existiert, solange beide Zonen Land waren. Allein sobald das Polarland transgredierend vom Meere überflutet wurde, fehlten alle Bedingungen für die Speicherung von Schnee und alle Voraussetzungen für die Bildung von Gletschern. Es ist daher wahrscheinlich, daß die Erdpole und ihre gebirgigen Nachbargebiete nur dann Gletscher getragen haben, wenn sie Festland waren und daß lateritische Verwitterungsvorgänge weite Tropenländer verändern können, selbst wenn gleichzeitig kein Geschiebelehm gebildet wird.

Immer klarer tritt es hervor, daß die eigentliche Ursache der Vereisungen ein Teilproblem des Kreislaufes der Vadose ist und daß der Eintritt einer Glazialperiode stets bedingt wurde durch eine Verwandlung des pluvialen Regenkreislaufes in den nivalen Schneekreislauf, während jede Interglazialzeit den entgegengesetzten Vorgang kennzeichnet.

Wenn wir uns nun die Frage vorlegen, durch welche Ursache eine Verwandlung des pluvialen Wasserkreislaufes in den nivalen bedingt sein könnte, so wird man, in Erinnerung an die „Eiszeiten“, zunächst

geneigt sein, eine Abkühlung der Sonne anzunehmen. Allein die gewaltigen Niederschläge von Schnee und Regenwasser während der Diluvialzeit sind so auffallend, daß man zuerst einmal an die klimatische Anfangsursache solcher Niederschläge, nämlich die Verdunstung auf dem Meere denken muß.

Diese muß doch um so größer sein, je wärmer die Sonnenstrahlen auf die Tropenmeere herabscheinen und die Menge der Vadose in der Atmosphäre kann nur durch größere Verdunstung gesteigert werden.

Nehmen wir also an, daß durch eine vorübergehende Erhöhung der Sonnentemperatur die mittlere Jahreswärme aller Klimagebiete um 1° C steigt, dann wird am Äquator die Temperatur vielleicht von 25° auf 26°, in mitteren Breiten von 10° auf 11° steigen, die Grenze des Polargebietes wird sich um einige Breitengrade polwärts verlagern, aber auf einem festländischen Polargebiet mit — 5° mittlerer Jahreswärme wird dann immer noch — 4° herrschen und alle Gebiete um die Kältepole werden stets innerhalb der Schneegrenze bleiben. Also wird eine Erhöhung der Sonnenwärme nicht hindern können, daß hier die Niederschläge als Schnee und Hagel herabfallen und sich zu Firn und Eis verwandeln. Die stärkere Verdunstung der Tropenmeere sättigt die Atmosphäre beständig mit Wasserdämpfen und diese fallen als pluviale Tropenregen, aride Ruckregen und als Schnee in der nivalen Zone herab.

Die Flüsse niederer Breiten fördern den Regenüberschuß zum Weltmeer, aber der Schnee wird festländisch gespeichert und fließt erst nach Jahrhunderten aus dem Niederschlagsgebiet ab. Die Gletscher dehnen sich auf festländischen Polargebieten unaufhaltsam aus, wirken abkühlend auf die Nachbarländer und erzeugen dabei Gebirgsgletscher und weite, vom Schmelzwasser zerfurchte Randzonen. Daher muß eine größere Verdunstung am Äquator eine Vergrößerung der polaren Schneemassen und Eisdecken hervorrufen.

So kann man sich wohl denken, daß die Schneezeiten der Erdgeschichte, ebenso wie die Lateritbildung durch eine Steigerung der Sonnentemperatur verursacht waren.

Vom allgemeinen erdgeschichtlichen Standpunkt ist der Nachweis von ausgedehnten Schneeperioden und Eisdecken im Liegenden des Kambrium von der allergrößten Bedeutung. Denn sie beweisen, daß schon damals die Erdrinde so erkaltet war, daß ein geothermischer Einfluß auf deren Oberflächenklima ausgeschlossen war. Daraus ergibt sich aber mit ebensolcher Sicherheit, daß alle seit dem Kambrium bekannten lithologischen und biologischen, d. h. klimatischen Erscheinungen nur von der Wärmestrahlung der Sonne abhängig waren und daß wir ein Recht haben, alle im geologischen Sinn erdgeschichtlichen Vorgänge nach den ontologischen Erfahrungen zu beurteilen, die uns das Wechselspiel der heutigen Klimazustände verständlich macht.

Literatur

I. zur diluvialen Schneezeit

Agassiz, L., Brief an Bronn vom 25. Jan. 1841 im N. Jahrb. f. Mineral. Geol. 1841, S. 357. — Brockmann-Jerosch, Die fossilen Pflanzenreste des glazialen Delta b. Kaltenbrunn. St. Gallen 1912. — Czersky, Schriften d. Naturforsch. Gesellsch. St. Petersburg 1866. Zool. Abt. XIX. — v. Drygalski, E., Die Antarktis und ihre Vereisung. Bayer. Akad. d. Wissensch., Math.-physik. Kl., Jahrg. 1919, München. — Enquist, F., Der Einfluß des Windes auf die Verteilung der Gletscher. Bull. of the Geol. Inst. of Upsala, XIV. 1916. — Enquist, F., Die glaziale Entwicklungsgeschichte Nordwest-Skandinaviens. Ser. C. Avhandlinger uppsaster Nr. 285, Stockholm 1918. — Gagel, G., Probleme der Diluvialgeologie. Branca-Festschr. 1914, Berlin, S. 124—163. — Geinitz, E., Wesen und Ursache der Eiszeit. Archiv d. V. d. Freunde d. Naturgesch. i. Mecklenburg, 59. Jahrg. 1905. — Hellmann, G., Über die Herkunft der Staubfälle im Dunkelmeer. Sitzungsber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch., XIV. 1913, S. 272. — Hergt, B., Die Flora der Travatine von Weimar und Ehringsdorf. Weimar 1912. — Hohenstein, V., Die Löß- und Schwarzerdeböden Rheinhessens. Jahresber. d. Oberrh. Geol. Ver., N. F. Bd. IX, 1920, S. 74—97. — Keilhack, K., Die großen Dünengebiete Norddeutschlands. Zeitschr. d. D. Geol. Gesellsch., Bd. 69, Jahrg. 1917, Monatsber. 1—4. — Keilhack, K., Die Nordgrenze des Löß in ihren Beziehungen zum Nordischen Diluvium. Zeitschr. d. D. Geol. Gesellsch., Bd. 70, Jahrg. 1918, Monatsber. 5—7, S. 77. — Keilhack, K., Das Rätsel der Lößbildung. Zeitschr. d. D. Geol. Gesellsch., Jahrg. 1920, Monatsber. 6, 7, S. 146. — Lamplough, G. W., Address to the Geological Section. British Association for the Adv. of Science. York 1906. — Leiviskä, I., Der Salpausselkä. Helsinki 1920. — Lepsius, R., Die Einheit und die Ursachen der diluvialen Eiszeit in den Alpen. Abh. d. Großh. Hess. Geol. Landesanst. zu Darmstadt, V. Bd., Heft 1, 1910. — Molengraaff, G. A. F. and Weber, M., On the Relation between the Pleistocene Glacial Period and the Sunda Sea (Java and South China-Sea), and its Influence on the Distribution of Coralreefs and on the Land-and Freshwater Fauna. Proceedings, XXIII, Nr. 2 u. 3, 1919, S. 395—439. — Munthe, H., Preliminary Report on the Physical Geography of the Litorina-Sea. Bull. of the Geol. Inst. of Upsala, II, Nr. 3. 1894. — Nathorst, A. G., Neuere Erfahrungen von dem Vorkommen fossiler Glazialpflanzen und einige darauf besonders für Mitteldeutschland basierte Schlußfolgerungen. Geol. Föreningens I Stockholm Förhandlingar 1914, Bd. 36, Heft 4, S. 267. — Peach and Horne, The geol. Structure of the NW Highlands of Scotland. Glasgow 1907. — Penck, A., Antarktische Probleme, Sitzungsber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch., 1914, IV, S. 50. — Philipp, H., Geologische Untersuchungen über den Mechanismus der Gletscherbewegung und die Entstehung der Gletschertextur. N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont., Beil., Bd. XLIII, 1920, S. 439—556. — Pohle, R., Beitr. z. K. d. westsibirischen Tiefebene. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde, Berlin 1919, S. 431. — Ramsay, W., Über die Verbreitung von Nephelinsyenit-Geschiebe und die Ausbreitung des Nordeuropäischen Inlandeises im nördlichen Rußland. Helsingfors 1912. — Schmidt, Wissensch. Resultate d. M.-Exped. Mém. Acad. Imp., St. Petersbourg 1876, VII, XVIII, S. 1. — Soergel, W., Der Rabutzer Beckenton. Geologie, Paläontologie, Biologie. Halle a. S. 1920. — Soergel, W., Lösse, Eiszeiten und paläolithische Kulturen. Jena 1919. — v. Toll, E., Die fossilen Eislager und ihre Beziehungen zu den Mammutleichen. Mémoires I, Académie St. Petersbourg Tome XLII, Nr. 13, St. Petersburg 1895. — Tolmatschow, I. P., Bodeneis vom Fluß Beresowka Nordost-Sibiriens. Verh. d. Russ. Min. Gesellsch., Bd. XL, Lief. 2. St. Petersburg 1903. — Walther, J., Das geologische Alter und die Bildung des Laterits. Petermanns Mitteil., 62. Jahrg., Februar 1916. — Wigand, A., Die vertikale Verteilung der Kondensationskerne in der freien Atmosphäre. Annalen der Physik. IV. Folge. Bd. 59, 1919, S. 689.

II. der älteren Schneezeiten

Coleman, A. P., The Lower Huronian Ice Age. Compte Rendu du XI. Congrès Géolog. International 1912, S. 1069. — Diener, C., Über die Altersstellung der untersten Gondwana-Stufe in ihren Beziehungen zu den marinen Sedimenten des Himalaya. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. Wien, Math.-naturw. Klasse, Bd. CXXIII, Abt. I, 1914, S. 669. — Eckhardt, W. R., Über die permokarbone Eiszeit und ihre Sonderstellung im geologischen Klimaproblem. Die Naturwissenschaften. Berlin, 5. Jahrg., Heft 29, 1917, S. 482. — Howchin, W., Glacial Beds of Cambrian Age in South Australia. Quart. Journ. Geol. Soc., LXIV, 1908, XIX–XXVI, S. 234–259, XIX–XXVI. — Manson, An Attempt to Explain the Evidences of Glacial Action During the Permian. Geological Society of London 1907. — Oldham, R. D., Geology of India. Second Edition. Stratigraphical and Structural, 1893. — Penck, A., Geomorphologische Probleme aus Nordwest-Schottland. Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdk., Berlin, Bd. XXXII, 1897, Nr. 3, S. 146. — Penck, A., Die Eiszeiten Australiens. Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdk., Berlin, Bd. XXXV, 1900, S. 239. — Philippi, E., Das südafrikanische Dwyka-Konglomerat. Zeitschr. d. D. Geol. Gesellsch., Jahrg. 1904, S. 304. — Philippi, E., Über die permische Eiszeit. Zentralbl. f. Min., Geol. u. Pal., Jahrg. 1908, Nr. 12, S. 353. — Reusch, H., Skuringsmaerker og moraenegrus eftervist i Finmarken fra en periode meget aeldre end „istiden“. Norges geol. undersøgelser aarbog., Kristiania 1891. — Rogers, A. W. and Schwarz, E. H. L., The Orange River Ground Moraine. Transactions of the South African Philosophical Society, XI, Part 2, 1900, S. 113. — Rogers and Du Toit, The Geology of Cape Colony, 1909. — Strahan, A., On Glacial Phenomena of Palaeozoic Age in the Varanger Fiord. Quarterly Journal of the Geol. Society, IV, 1897, S. 137. — Süssmilch, C. A., Geology of New South Wales, Sydney 1914. — Woodworth, J. B., Geological Expedition to Brazil and Chile 1908—1909. Bulletin of the Museum of Comparative Zoology, LVI, Nr. 1, 1912. — Zalewsky, Sur le Cordaites aequalis de Sibérie de la flore de Gondwana. Mém. du Comité Géologique, St. Petersburg 1912, S. 86.

43. Das rezente Weltmeer

Für A. G. Werner, der die Bildung der geschichteten Erdrinde als Niederschlag eines allmählich kälter und hierbei immer stoffärmer werdenden Urmeeres betrachtete, war der heutige Ozean der letzte Rest jenes alten Lösungsgemisches, das sich im Laufe der Erdgeschichte beständig verändert hatte.

Nachdem das Irrige dieser Auffassung erkannt worden war, wandelten sich die Anschauungen über das rezente Meer in entgegengesetzter Richtung und unter dem Einfluß des Aktualismus befestigte sich immer mehr die Auffassung, daß wir in allen heutigen Eigenschaften des Weltmeeres ein bleibendes ontologisches Paradigma für alle paläontologischen Tatsachen erblicken können und daß wir auch alle Zustände und Vorgänge der älteren Meere nur nach dem rezenten Ozean beurteilen und an ihm messen dürfen.

So wurde das heutige Meer, als Vergleichsobjekt für alle früheren Zustände des Weltozeans, der Gegenstand eingehender geologischer Untersuchung, und was die Gegenwart zeigte, schien vielen als ein unabänderliches Erbteil der Vorzeit. Weil heute ein Globigerinen-reicher Kalk-

schlamm die Tiefe des Atlantik bedeckt, betrachtet man die lithologisch ähnliche Schreibekreide als „Tiefseebildung“ und weil manche rezenten Tiefseekrebse verkümmerte Augen besitzen, galten auch die kambrischen blinden Trilobiten für Tiefseebewohner.

Indem ich jahrzehntelang das heutige Meer unter sehr verschiedenen Breiten mit Tiefenlot und Schleppnetz untersuchte, seine Lebewelt unter ihren natürlichen Bedingungen ebenso wie im verdunkelten Aquarium studierte und die hierbei gemachten Erfahrungen immer wieder mit den marinen fossilführenden Gesteinen älterer Zeiten verglich, hat sich jedoch mir ein anderes Bild gestaltet, das ich in seinen allgemeinen Umrissen hier zeichnen will.

Der Geologe ist gewohnt, ein Stück aufgeschlossene Erdrinde chronologisch-stratigraphisch zu zergliedern und seinen heutigen Zustand als das Ergebnis zahlreicher historisch aufeinanderfolgender lithogenetischer, biologischer und tektonischer Veränderungen zu betrachten. Auch das rezente Weltmeer ist das Resultat einer ungeheuer langen Geschichte, und was uns heute als notwendige Eigenschaft erscheint, ist ebenso historisch geworden, wie der geologische Aufbau des Alpengebirges.

Freilich kennen wir nur die letzten Lockerdecken seines Bodens, die chemische Zusammensetzung seines Wassers und die darin lebenden Organismen. Aber trotzdem können wir an der Hand vieler, längst bekannter Tatsachen die Frage prüfen, welche Eigenschaften des rezenten Meeres jederzeit unveränderlich dieselben waren und welche erst im Laufe bestimmter Perioden erworben wurden oder entstanden sind.

Die ungeheure Verbreitung algonkischer glazialer Blocklehme in mächtigen Profilen beweist zunächst, daß schon damals große Festländer bestanden, daß also ein „universelles Urmeer“ bis zur unteren Grenze geologisch erforschbarer Dokumente nicht bestanden haben kann. Dann zeigt uns jede größere Schichtenfolge, daß fast alle heutigen Festländer lange Perioden Meeresgrund gewesen sind. Manche Flächen sind allerdings aus kristallinen Gesteinen des „Archaikum“ aufgebaut und konnten früher ohne Bedenken als präkambrische Festländer betrachtet werden. Aber wenn viele schottischen Gneise während der unterdevonischen kaledonischen Faltung vergneißt wurden, dann hat man kein Recht, diese Gebiete ohne weiteres als silurisches Festland zu betrachten, und wenn wohlgeschichtete Phyllite und Glimmerschiefer mächtige Profile in anderen archaischen Gebieten zusammensetzen, dann können auch diese kristallinen Gesteine ehemalige Meeresbildungen sein.

So dürfen wir kein einziges, aus Paragneisen bestehendes Massiv als ewiges Festland betrachten, und müssen damit rechnen, daß auch in seinem Aufbau Meeresablagerungen enthalten sein können.

Anderseits zeigen uns die meisten größeren Profile mitten zwischen fossilführenden, concordant und fortlaufend gebildeten Sedimenten größere

oder kleinere Lücken, deren discordante Lagerung sie als Wirkungen großer Abtragungsvorgänge kennzeichnet. Oft beginnt die hangende discordante Schichtenfolge mit einem sog. Grundkonglomerat, das auf einer älteren Verwitterungsdecke liegt und dessen Gerölle daher nicht als Wirkungen des transgredierend heranschreitenden Meeres, sondern als eine vom Meer überflutete ältere Lesedecke betrachtet werden muß.

Wir haben die ganz verschiedenartigen Vorgänge, die man als Transgressionen und Regressionen schematisch zusammenfaßt, später noch kritisch zu untersuchen, und wollen hier nur betonen, daß fast alle größeren Schichtenfolgen einen wiederholten Wechsel festländischer und mariner Ablagerungen zeigen. Indem wir die Verbreitung bestimmter fossiler Lebensgenossen durch die Erdgeschichte verfolgen, sehen wir, daß die Lage und Ausdehnung des Meeres stets veränderlich war. Es haben sich immer wieder Nebenmeere abgegliedert und benachbarte Meeresbecken sind zu größeren Ozeanen zusammengeflossen.

Das rezente Weltmeer stellt eine ozeanographische Einheit dar. Alle Festländer sind kleinere oder ausgedehntere Inseln, die allseitig vom Ozean umspült werden. Dieser selbst aber reicht vom Nordpol bis zur Küste der Antarktis und seine Lebewelt kann sich ohne topographische Schranken, nur durch Luft und Temperaturzonen getrennt, um die ganze Erde herum verbreiten. Das bedingt die systematische Einheit der rezenten Fauna, die sich zwar nach Rassen, Arten und Gattungen verteilt hat, aber doch phyletisch auf das engste verwandt ist.

Es ist eine der wichtigsten paläontologischen Erfahrungen, daß nicht nur die fossile Fauna jeder vorhergehenden Periode ebenfalls eine systematische Einheit darstellt, sondern daß sich diese übereinander geschichteten Faunen monophyletisch zu einem einzigen Stammbaum verknüpfen lassen. Wäre das Weltmeer auch nur während einer einzigen Periode in zwei oder mehr völlig getrennte Becken zerfallen, so müßten wir dies in der Gabelung der Ordnungen und Stämme von diesem Zeitpunkt ab durch alle weiteren Perioden verfolgen können.

So kommen wir schrittweise bis an die Unterkante des Ordovizium und wenn auch eine Anzahl Formen (Agnostus und Hyolithes) diese Grenze überschreiten, so tritt uns doch im Kambrium eine so fremdartige Lebewelt entgegen, und deren Verteilung erscheint vielfach so lokalisiert, daß man an völlig getrennte Wasserbecken denken möchte, die sich erst später schrittweise zusammengeschlossen haben.

Dafür spricht vor allem die Tatsache, daß manche kambrische Faunen keine kalkschaligen Formen enthalten, so daß man, die Tatsache verallgemeinernd, von einem „kalkfreien kambrischen Meer“ gesprochen hat. Die weitverbreiteten Archaeocyathus und Salterella-Kalke zeigen aber, daß es auch kalkreiche Becken gegeben haben muß. Anderseits ist der algonkische Birikalk völlig frei von hornschaligen Fossilien,

während in dem wahrscheinlich gleichalterigen unverkitteten „Blau-Ton“ von Petersburg wiederum nur hornschaligen Reste gefunden werden. So kommen wir zu der Annahme, daß die chemisch aus denselben Stoffen gebildeten Hartgebilde der Meereswelt, die jetzt biogeographisch durch einander gemischt leben, aus weichhäutigen Vorfahren in isolierten Becken entstanden sind, deren Salzgehalt so verschieden war, daß die darin lebenden Tiere je nachdem Kieselsäure, Baryt, Kalk oder Strontianit zum Aufbau ihrer Skelette verwendeten.

Da Leben nur im Sonnenlicht gedeihen und entstehen kann, knüpft sich die zweite Frage an, ob immer eine lichtlose Tiefsee existiert hat und belebt war. Frech hat darauf hingewiesen, daß sich schon im Kambrium der Atlantik, Pazifik und Indik durch eine besondere Trilobitenfauna unterschieden Es müssen daher diese jetzt so ausgedehnten Tiefenbecken schon damals angelegt gewesen sein — nur fragt es sich, ob sie zur aphotischen Tiefsee gehört haben.

Wie wir später noch ausführen werden, ist es ganz unmöglich, an einer, aus ihrem lithologischen Verband herausgerissenen Ablagerung oder Fauna zu entscheiden, in welcher Tiefe sie gebildet worden sei. Zu diesem Nachweis gehört in erster Linie die Untersuchung ihres Liegenden und Hangenden. Denn es kann kein Stück Meeresboden plötzlich in die Tiefe hinabtauchen, ohne auch die Zwischentiefen zu durchmessen, und es kann ebensowenig wieder verflachen, ohne daß man an den hangenden Gesteinen die allmähligen Übergänge zwischen Tiefsee und Flachsee ablesen würde. Wenn man von diesem Standpunkt aus die kambrischen Profile in Böhmen und Schweden genau durchklopft, das australische Kambrium prüft und die amerikanischen Schichtenfolgen vergleicht, finden sich jedoch nirgends Anzeichen solcher Übergänge der Tiefenbewegung. Neuere Untersuchungen von Scupin beweisen sogar, daß die früher als Tiefseeablagerung betrachteten Dictyonemaschiefer eine Bildung im seichten Wattenmeer hinter vorgelagerten Sanddünen darstellen.

Wichtig erscheint mir auch in diesem Zusammenhang, daß die altzeitlichen Meere so leicht und weit transgredieren konnten und daß sich ihre Grenzen so häufig verschoben haben. Dagegen kommt der regelmäßige harmonische Schüsselbau, den wir in der Verteilung des Zechsteins, Buntsandsteins und Muschelkalkes von Deutschland, oder der Ausfüllung des Pariser Beckens mit mittelzeitlichen Gesteinen beobachten, in den ungestörten Ablagerungen der Altzeit nirgends zum Ausdruck. Die Frage verdient eine genauere Nachprüfung, allein viele bekannte Tatsachen drängen zu der Überlegung, daß die transgredierenden Verschiebungen des Weltmeeres in der Altzeit viel weitreichender gewesen sind, als in den späteren Perioden.

Gegenwärtig ist $^2/_3$ der Erdkugel mit einer Wasserhaut von durchschnittlich 3500 m Tiefe bedeckt. Die algonkischen Tillite beweisen

ebenso wie der schottische Torridonsandstein und das norwegische Sparagonit, daß damals schon ausgedehnte Festländer existierten. Es geht also nicht an, die heutige Wasssermenge in jener Urzeit gleichmäßig über die ganze Erdoberfläche zu verteilen. Denn in diesem Fall hätte eine gleichartige Tiefsee von 2600 m die ganze Erdkugel umspannt, und nirgends hätte die Möglichkeit bestanden, daß innerhalb einer lichtreichen warmen Oberschicht Leben entstehen und sich halten konnte.

So leiten uns auch biologische Betrachtungen zu der zuerst von E. Suess ausgesprochenen Ansicht, daß die Geschichte des Weltmeeres durch die Entgasung des Erdkerns bestimmt worden sei. Die Verwandlung magmatischer Eruptose in Vadose muß also seit dem Kambrium zu einer beständigen Vermehrung der flüssigen Wassermasse geführt haben. Auf diesem Wege erfolgte die allmähliche Vereinigung aller der kleinen Endseen von verschiedenem chemischen Gehalt und verschiedener Lebewelt zu dem einheitlichen Lösungsgemisch, das mit seiner monophyletischen Lebewelt seit dem Schluß des Kambrium durch alle Perioden der Erdgeschichte hindurch verfolgt werden kann.

Von entscheidender Bedeutung für die weite Verbreitung flacher Meeresbecken während der ganzen Altzeit spricht aber auch die systematische Zusammensetzung der die heutige Tiefsee bewohnenden Fauna. Zu allen Zeiten war der Boden des tieferen Meerwassers pflanzenleer, und ungeeignet für das Leben autotropher Organismen. Die Gleichmäßigkeit und das bei allen Transgressionen der Oberschicht unveränderliche Klima dieser lichtlosen Tiefe bot schlamm- und fleischfressenden Tieren jederzeit ein geschütztes Asyl und eine ruhige Zufluchtstätte aus dem kampfreichen Obergebiet. Die algonkischen Tillite beweisen, daß schon damals Sinkströmungen nahrungs- und O-reiches Wasser in die dunklen Tiefen hinabbrachten. Man sollte daraus schließen und dieser Schluß ist früher oft gezogen worden, daß in der heutigen Tiefsee die Relikte alter fossiler Gruppen, besonders aber die altzeitlichen Fauna zu finden seien. Als Sars 1860 an der Lofoten in 1000 m Tiefe die erste lebende, gestielte Crinoide entdeckte, erhielt diese Annahme neue Nahrung und es war eine der Hauptaufgaben der Challenger-Expedition, die heutige Tiefsee nach Graptolithen und Trilobiten, Rugosen und Ammoniten zu durchforschen. Aber die große englische, wie alle folgenden amerikanischen und deutschen Tiefsee-Expeditionen ergaben die überraschende Tatsache, daß die phyletischen Wurzeln der rezenten Tiefseefauna in der Mittelzeit liegen, daß kein einziger paläozoischer Typus darin vertreten sei.

Die Unveränderlichkeit der mehr als die Hälfte der Erdkugel umspannenden Tiefsee würde diese alten Relikte um so leichter konserviert haben, als wir in der Flachsee noch heute einige primitive Typen, wie Nodosaria, Textularia, Rhynchonella, Nucula, Arca, Nautilus finden.

Biologisch ergibt sich also daraus der gleiche Schluß: daß eine Tiefsee während der Altzeit nicht existiert haben kann und daß das Tiefenwasser zu den später erworbenen Eigenschaften des heutigen Weltmeeres gehört.

Wenn uns die universelle Verbreitung einzelner Leitfossilien und ganzer Faunen durch alle geologischen Perioden hindurch die Einheit des Weltmeers beweist, so ist doch damit die Unveränderlichkeit seiner chemischen Zusammensetzung nicht notwendig verknüpft.

Schon die Masse der Kalisalze im Verhältnis der Chloride und Sulfate im Profil der deutschen Zechsteinsalze gibt zu denken. E. Erdmann berechnete das Verhältnis der neben dem NaCl im heutigen Meer und in den permischen Salzlagern enthaltenen Verbindungen und fand, daß das Zechsteinbecken an Calciumsulfat etwa 6mal so reich war, an Kalisalzen dagegen nur $^1/_3$ der normalen Meerwassermenge enthielt. Auch das fast vollständige Fehlen des Jods bei reichlich vorhandenem Brom ist sehr bemerkenswert. Selbst wenn man die eigenartigen Vorgänge berücksichtigt, welche das Zechsteinmeer in einen Wüstensee verwandelten und seine ursprünglich von England bis zum Ural reichende Fläche über dem deutschen Senkungsgebiet einengte, ist das Mißverhältnis dieser vollständig erhaltenen Seesalzmassen eines permischen Meeres überaus auffallend.

Denn wenn wir auch nur mit einem Rest der ursprünglich in Deutschland vorhandenen permischen Salzmassen rechnen können und große Mengen derselben wieder aufgelöst worden sein müssen — so ist doch wahrscheinlich, daß gerade die leichtlöslichen Kalisalze zuerst verschwunden sind, und dann erscheint ihr Vorwiegen im ursprünglichen Salzprofil und in dem Meerwasser, aus dem dieses entstand, noch auffallender.

Auch andere Tatsachen drängen zu der Auffassung, daß das heutige Salzgemisch im Weltmeer nicht immer dasselbe gewesen sein kann. Die mittlere Zusammensetzung der rezenten Flüsse würde nach M. Reade den

Kalkgehalt des heutigen Ozeans in	480 000	Jahren
Sulfatgehalt „ „ „ „	25 000 000	„
Chloridgehalt „ „ „ „	200 000 000	„

ansammeln. Es muß daher der Gehalt desselben teilweise aus älteren Perioden stammen. Wenn wir erwägen, daß bei der Bildung einer ersten glasigen Erstarrungskruste ein Teil der ursprünglich gasförmigen Verbindungen, die dann unter dem Einfluß des kalten Weltenraumes kondensiert wurden, aus denselben Gasen bestand, die heute noch im unterirdischen Magma enthalten sind, dann wird es leicht verständlich, daß die qualitative chemische Zusammensetzung älterer Meere eine andere gewesen sein kann, als sie der rezente Ozean zeigt.

Es wäre von hohem Interesse, experimentell zu prüfen, welche der vermutlich damals vorwiegenden Verbindungen für die Entwicklung mariner Larven günstig oder nachteilig sind. Denn wahrscheinlich sind diese noch heute gegen die Einwirkung von Salzen immun geblieben, die im Lebensraum ihrer Vorfahren reichlicher als jetzt vorhanden waren.

Eine sehr alte Eigenschaft des Ozeans ist die Ebenflächigkeit seines Bodens. Man könnte die mit Hilfe zahlreicher, aber weit auseinanderliegender Lotungen konstruierte Ebenheit des heutigen Meeresgrundes für ein Trugbild halten, wenn uns nicht zahllose Aufschlüsse in allen Teilen der Welt immer wieder den völlig horizontalen Schichtenbau mariner Sedimente vor Augen führte. Die Strudelschichtung festländischer Schuttkegel, die unregelmäßige Schichtung litoraler Gesteine oder die Diagonalschichtung ehemaliger Sanddünen bildet seltene Ausnahmen innerhalb der parallelen Flächen, mit denen die papierdünnen Fäulen der Solnhofener Plattenkalke ebenso wie die mächtigen Bänke der Dachsteinkalke übereinanderliegen. Am Bohlen, wo auf dem felsigen Untergrund einer unebenen Denudationsfläche diskordant die neue transgredierende Schichtenfolge beginnt, sehen wir, wie sich die Schichtenflächen zunächst in flachen Mulden spannen und allmählich in die Horizontale übergehen.

Nur am Abhang von aufgeschütteten Vulkanen und örtlich aufwachsenden Kalkriffen zeigt uns die mantelförmige Lagerung der Übergußschichtung die abnormen Bildungsbedingungen.

Zur Erklärung tiergeographischer Zusammenhänge von Kontinenten und Inselländern und der Wanderung von Pflanzen und Tieren haben viele älteren Biologen Tiefsee und Festland oft ihre Plätze tauschen lassen, ohne zu bedenken, daß die geologische Erklärung dieser wiederholten Krustenbewegungen zu schwerverständlichen Annahmen führt. Solche Gedanken haben dann andere Forscher zu der Lehre von der Konstanz der Tiefsee geleitet.

Es ist nicht ganz leicht, diese verschiedenartigen Annahmen bloß an der Hand bathymetrischer Meereskarten nachzuprüfen und zu entscheiden. Nur wenn wir genau erforschte ältere marine Schichtenfolgen von großer Mächtigkeit untersuchen, können wir nach den Grundsätzen der ontologischen Methode Rückschlüsse auf die Bewegungen des heutigen Weltmeers ziehen.

Wir erkennen hierbei zunächst, daß die kleinen und größeren Senkungsgebiete, die J. J. Dana als Geosynklinalen bezeichnet hat und die ich wegen ihrer wichtigsten litologischen Eigenart mit dem deutschen Ausdruck „Sammelmulde“ benenne, während der Erdgeschichte bald hier bald dort entstanden sind und je nach den daselbst herrschenden klimatischen Umständen ganz verschiedene Schicksale hatten.

Die festländischen Sammelmulden des humiden Gebietes, welche, wie die oberbayrische Hochebene, die Poebene oder das Niederrheingebiet, von wasserreichen Flüssen erreicht und mit deren Schutt überdeckt werden, bilden bis über 1000 m mächtige Profile von Konglomeraten, Sandsteinen und Tongesteinen, welche die durch Senkung entstehenden und immer weiter vertieften Hohlräume so gleichmäßig zufüllen, daß ihre Oberfläche nur wenig gegliederte Geländeformen zeigt.

Reichen die im Flußgebiet gebildeten Schuttmassen nicht aus, um eine der Senkung entsprechende Nachfüllung zu erreichen, dann erweitert sich das hydrographische Netz zu einem großen Schaltsee, dessen Boden bei gesteigerter Senkung bis weit unter den Meeresspiegel (Gardasee) hinabreichen kann.

Im ariden Gebiet ist gewöhnlich die Verwitterung sehr stark und die periodisch gesteigerte Wasserführung der oft lange Jahre trocken liegenden Flußrinnen kann daher, unterstützt von konstanten Winden, alle Senken in weite Schuttbecken und Lettenpfannen mit horizontaler Oberfläche verwandeln. Bilden die Gewässer aber einen Endsee, in welchem dauernde Zuflüsse verdunsten, dann füllt sich die Senke mit feinkörnigen Trümmergesteinen und chemischen Niederschlägen aus Kalk, Gips oder Salz. Fortdauernde Senkung kann solche Sammelmulden mit ihrem ganzen Flußnetz unter den Meeresspiegel versenken und weite Depressionen bilden, welche so lange trockene Wüsten bleiben, bis das Meer die letzte Wasserscheide durchbricht und in die flache Depression hineinstürzt, wie dies E. Fraas für die Bildungszeit des deutschen Liasmeeres an der Wende des Oberkeupers gezeigt hat.

Den mit Süßwasser, Schutt, Salzen oder Luft erfüllten Sammelmulden des Festlandes stehen die in der Nähe des Meeres oder an seinem Boden entstehenden Geosynklinalen dadurch schroff gegenüber, daß ihr Volumen sofort vom Salzwasser des Weltozeans erfüllt und ihre Fläche diesem angegliedert wird.

Die Mächtigkeit vieler in älteren Sammelmulden gebildeten Schichtenfolgen erreicht 6000—8000 m — es ist daher wahrscheinlich, daß auch die weiten ebenso tiefen Räume des heutigen Weltmeeres durch allmähliche Senkung entstanden sind und daß sie nur deshalb voll Seewasser stehen, weil die Sedimente der dort mündenden Flüsse nebst den dampfenden Vulkanen und der Ausscheidung organischer mariner Kalke und Kieselgesteine nicht ausreichten, um die Senkung zuzufüllen.

Daß weite Räume des rezenten Meeres in solcher andauernden Senkung begriffen sind, geht nach J. J. Dana und Ch. Darwin unzweifelhaft aus den zahlreichen Korallenriffen der Hochsee hervor, besonders seitdem die Bohrung auf Funafuti alle Zweifel, die gegen diese Lehre vorgebracht worden sind, zum Verstummen gebracht hat.

Wenn marine organische Kalke, reich an Flachwassertieren, autotrophen Korallen, Kalkalgen und Pflanzenfressern und von gleichartiger Gesteinsbeschaffenheit eine Mächtigkeit erreichen, welche 100 m überschreitet, dann kann eine während der Ablagerung erfolgte Senkung des Untergrundes nicht bezweifelt werden.

Da wir alpine geschichtete Triaskalke und ungeschichtete Dolomite mit einer Mächtigkeit von 500—1000 m kennen; da auch in älteren und jüngeren Perioden ähnliche Massenkalke entstanden sind, handelt es sich hierbei immer wieder um eine dauernde Begleiterscheinung ausgedehnter Senkungen.

Die Fauna der heutigen Tiefsee kann erst seit der Triaszeit dort eingewandert sein und es fragt sich nun, ob seither so lebhafte Hebungen des Tiefseebodens eingetreten sind, daß dadurch ehemalige Flächen desselben zu Flachsee- oder gar Festlandgebieten wurden Die Verbreitung abyssaler Sedimente und von Tiefseetieren kann allein diese Frage entscheiden.

Wir werden die Eigenart solcher Bildungen in einem folgenden Abschnitt schildern und greifen vor, wenn wir erklären, daß in der ganzen Mittel- und Neuzeit niemals irgendein größeres heute festländisches Gebiet zur Tiefsee gehört haben kann. Es ergibt sich für uns daraus die Vorstellung, daß zwar Festland zur Flachsee und Tiefsee werden kann, daß aber der Boden der abyssalen Region niemals wieder in größerer Ausdehnung das Sonnenlicht erblicken wird.

Allein die seltsame Verteilung einzelner langgestreckter Senken und Höhengebiete auf unseren Seekarten regt doch die Frage an, ob nicht auch lokale Hebungen am Meeresgrund selbst in der Gegenwart nachzuweisen sind.

Die vergleichende Tektonik hat gezeigt, daß Senkungen und Hebungen in mannigfaltiger, aber doch gesetzmäßiger Weise verknüpft auftreten. Jedes größere Faltengebirge wird von einem gesenkten Vorland begleitet und so könnte man umgekehrt aus dem Auftreten weiter submariner Senkungsfelder auf damit verbundene Faltungszonen schließen. In Frage käme besonders der lange mittelatlantische Rücken und einige ähnlich geformte Streifen. Zunächst muß freilich betont werden, daß alle Gebirgsfalten einen Halbmesser von wenigen Kilometern besitzen und daß alle Faltengebirge aus zahlreichen parallelen Faltenketten bestehen. Der 500—1000 km breite ungegliederte atlantische Rücken zeigt aber ein so gleichmäßiges Höhenprofil und ist so einheitlich mit Pteropodenschlamm bedeckt, daß man trotz der Entfernung der einzelnen Lotungspunkte nicht auf parallele Einzelfalten, sondern auf ein geschlossenes breites Gewölbe schließen muß. Wüßten wir nicht, daß der oberdevonische Meeresgrund durch die varistische Faltung in zahlreiche Parallelketten gebogen worden wäre, so könnten wir nicht mit solcher Sicherheit sagen,

daß der atlantische Höhenrücken kein gehobenes Faltengebiet sein kann. Sollte es sich aber um eine breite flache Wölbung handeln, so müßte man erklären, weshalb wir nicht ähnliche Erscheinungen aus älteren tektonisch genau untersuchten Perioden kennen.

Auch die sogenannten „Gräben" des heutigen Tiefseebodens erscheinen in einem anderen Licht, wenn wir ihre Entstehung nach den neueren tektonischen Anschauungen über Bruchzonenbildung beurteilen. Die als normale Grabenversenkung betrachtete Entstehung der oberrheinischen Tiefebene ist eine Teilerscheinung im Scheitel eines aufsteigenden Gewölbes. Schwarzwald und Vogesen wurden langsam emporgedrückt, während an den nach unten divergierenden Spalten des Rheintales ein verwickeltes System schmaler Streifen hinabgepreßt wurde. Infolgedessen liegt hier tertiärer und alluvialer Lockerboden auf dem sinkenden Grabengebiet, während beiderseits tiefabgetragene Halbhorste emporstiegen. Keiner der ozeanischen Gräben wird von ähnlichen Hebungsgebieten begleitet, auf deren Oberfläche ältere, d. h. diluviale und tertiäre Fossilien verbreitet sein müßten, wenn den festländischen Vorgängen entsprechend auch am Meeresgrund Senkung mit Zufüllung und Hebung mit Abtragung verbunden wäre.

Man könnte ja die sich so ergebenden Schwierigkeiten dadurch aus dem Wege räumen, daß man auf die Seltenheit der Schleppnetzzüge aufmerksam macht, oder die Höhe der darüber stehenden Wassersäule betont, die eine Denudation am Meeresboden unmöglich mache. Allein der letztere Vorgang spielt doch eine größere Rolle, als man gewöhnlich annimmt.

Da jede Hebung von Faltensätteln mit einer Entblößung liegender Gesteine verbunden ist, wäre allerdings die Frage zu prüfen, ob die durch die verschiedenen Expeditionen im Roten Tiefseeton gedredschten Zähne der pliozänen Oxyrhina crassa und Carcharodon megalodon sowie die rätselhaften groben Sande der Tiefsee von solchen denudierten submarinen Faltengebieten stammen.

Wie wir in einem späteren Abschnitt ausführen werden, sind auf den heute zugänglichen Festlandgebieten nur ganz wenige Gesteine zu finden, welche als „Tiefseebildung" im Sinne der heutigen abyssalen Sedimente betrachtet werden können. Der früher vielgenannte Radiolarit von Oran und Barbados kann sehr wohl eine litolare Planktonablagerung sein, denn auch der radiolarienreiche Tripel von Caltanisetta ist eine litorale Bildung. Nach J. Murray ist der miozäne Kalk von Malta so reich an Globigerina, daß er in beträchtlicher Wassertiefe gebildet worden sein muß. Auch die Forschungen von Guppy auf Christmas Isld. machen es wahrscheinlich, daß diese einsame, den Sundainseln vorgelagerte Phosphatinsel abyssaler Herkunft ist.

Die großen Tiefengräben, die südlich von Java und ebenso in der Umgebung von Timor gelotet wurden, lassen es verständlich erscheinen,

wenn auch G. A. F. Molengraff in der Schichtenfolge von Timor Tiefseeablagerungen wiedererkannte, die durch eine Hebung über die Meeresfläche gekommen sind. Es mag in diesem Zusammenhang von Interesse sein, daß ich bei einer Fahrt längs der noch kaum erforschten Nordküste von Timor unter den urwaldbedeckten Abhängen mehrere deutliche horizontale Terrassen verfolgen konnte, die als alte Saumriffe oder Küstenstufen gedeutet werden könnten.

Ein eigenartiges Bild gewinnen wir von der heutigen Meereswelt, wenn wir prüfen, seit welcher Zeit die einzelnen rezenten Gattungen und Lebenskreise schon existieren. Was wir über Dauerfossilien S. 79 f. ausführten, gewinnt dabei im Rahmen der andern Lebensgenossen besondere Bedeutung.

Die ältesten Gattungen gehören dem Algonkium an, aus dem Cayeux bei St. Lô planktonische Radiolarien beschrieben hat.

Seit dem Untersilur leben zahlreiche benthonische Flachseetiere, wie Textularia, Lingula, Discina, Rhynchonella, Arca, Nucula, Nautilus. Dazu kommen in jeder folgenden Periode immer wieder eine kleine Anzahl rezenter Gattungen hinzu.

Sehr eigenartig ist das S. 335 behandelte Auftreten zahlreicher Selachier im Karbon, der Knochenfische seit der Kreidezeit, der Wale und Delphine seit dem mittleren Tertiär, die wegen ihrer biologischen Bedeutung für die Auslese und das Absterben vorher weitverbreiteter Formenkreise verhängnisvoll wurden.

Allein die rezente Meereswelt hat ihren heutigen systematischen und bionomischen Charakter doch eigentlich erst im Diluvium erhalten. Leicht lassen sich pliozäne Ablagerungen paläontologisch von jüngeren Sedimenten unterscheiden und nur wenige Arten haben die große Schneezeit überdauert.

Wir haben im vorigen Abschnitt geschildert, welche seltsamen lithologischen Wirkungen das diluviale Klima hervorgebracht hat. Die hohe Verdunstung tropischer Meere verlagerte einen beträchtlichen Teil des Wassers auf die Festländer der Polargebiete und durch die gleichzeitig erfolgte Polverlagerung wurde das schnee- und eisbedeckte Gebiet noch vergrößert. A. Penck hat berechnet, daß der allgemeine Meeresspiegel dadurch um etwa 100 m gesenkt wurde.

In geistvoller Weise hat R. A. Daly gezeigt, wie dadurch zahlreiche vulkanische Inseln in einem tiefer gelegenen Brandungsniveau abgeschnitten wurden und viele rundliche Vulkanreste entstanden, auf denen sich beim Wiederansteigen des durch die postdiluvialen Schmelzwasser erhöhten Wasserspiegels die Korallenriffe ansiedelten, die heute als Atolle und Atollgebiete im Indik und Pazifik verbreitet sind. So wurde wohl auch die staunenswerte Ausdehnung der korallophilen Lebensgenossen, die heute eins der auffallendsten Elemente der marinen Lebewelt dar-

bieten, postdiluvial geschaffen. Fortdauernde Senkung großer Tiefseeflächen mag die Ursache dafür sein, daß, wie bei Funafati nachgewiesen, manche Korallenriffe auch eine größere Mächtigkeit besitzen, als sie allein durch das postdiluviale Ansteigen des Meeresspiegels erklärt werden kann. Die Intrusion von Lagergängen in solche Vulkansockel läßt lokale Hebungen verständlich werden.

Wenn wir endlich erwägen, daß zahlreiche geologische Vorgänge ein beständiges Oszillieren der Elementengrenze an kontinentalen und insularen Küsten bedingen, so werden wir uns nicht wundern, wenn so viele Koralleninseln bald Zeichen der „Hebung", bald solche einer „Senkung" erkennen lassen. Der ganze Kampf um die von Dana und Darwin begründete „Korallenrifftheorie" wäre nicht entbrannt, wenn nicht auf so vielen Küsten gehobene und gesenkte Riffe nahe beieinander gefunden würden, so daß das Wechselspiel positiver und negativer Strandverschiebungen, wie sie uns E. Suess unterscheiden lehrt, sich verwandelt in ein verwickeltes Bild von Interferenzerscheinungen im leicht veränderlichen Grenzgebiet zwischen Meer und Festland.

Eine besondere Eigenart vieler heutiger Küstengebiete ist die breite Ausdehnung des sogen. Schelf (Kontinentalstufe). Wir finden diese bis etwa 100 m tiefe, mit flachem Wasser bedeckte Zone besonders ausgeprägt an den nordeuropäischen und nordamerikanischen Küsten, soweit sie diluvial vereist waren. Das Schelf fehlt im Mittelmeer und wird um Afrika herum auffallend schmal, verschwindet an großen Küstenstrecken hier wie um Südamerika, und auch der größere Teil von Australien sinkt rasch und ohne Schelfstufe zum Tiefseeboden ab. Die Untersuchungen von v. Drygalski haben uns mit der weiten Treibeiszone näher bekannt gemacht, die er als Schelfeis bezeichnet, und Thoulet hat vor Jahren auf Neufundland dessen geologische Wirkungen untersucht. Er zeigte, daß, ähnlich wie der Spaltenfrost in unserem Winter alle Haarspalten erweitert, auch an polaren Küsten eine ganz eigenartige Verwitterung, der Küstenfrost, weit verbreitet ist. Indem das auch im Winter wärmere Meer bei Flut in die Küstengesteine eindringt und während der Ebbe darin friert, kommt es zu einer intensiven Bildung von Felstrümmern, die dann leicht vom Treibeisgürtel abgepreßt und ins Meer hinaus verfrachtet werden.

Es ist klar, daß während der diluvialen Vereisung die Bildung von Strandlinien, marinen Terrassen und einer breiten Schelfzone dadurch besonders erleichtert wurde.

Eine ganz andere Ursache postdiluvialer Schelfbildung lernte ich an der tropischen Nordküste von Australien kennen, wo diluviale laterisierte Gesteine vielfach bis an die Küsten reichen. Hier wird die zwischen der hangenden, harten Eisenkruste und den liegenden, unverwitterten Gesteinen eingeschaltete Bleichzone sehr leicht von den Wellen angegriffen.

Es bildet sich eine weit ausgedehnte Flachseeregion, meist überdeckt mit dem das Wasser trübenden Kaolinschlamm und Lateritschlamm des Küstensaums, der für die Ansiedelung von Riffkorallen sehr ungünstig zu sein scheint. Denn die ungeheuren Seichtwassergebiete der Arafurasee, des Golfes von Carpentaria und der breiten Küstenzone von Nordwest-Australien sind auffallend arm an Korallenriffen, obwohl unter denselben Breiten das riesige Wallriffgebiet der felsigen Ostküste vorgelagert ist.

Wer das Tropenland bereist hat, lernt zwischen den heute noch übrig gebliebenen Resten lateritischer Verwitterungsdecken die ungeheuren Denudationslücken kennen, die deutlich beweisen, welche Massen von rotem Lateritstaub hier postdiluvial herausgeblasen und entführt wurden. Der rote Staubnebel, der im Jahre 1901 durch Hellmann von Zentralafrika bis nach Norwegen verfolgt wurde, hat, ehe er Europa erreichte, schon das ganze Mittelmeer überflogen und den größten Teil seines Staubes an dessen Boden abgelagert. Auch die ungeheuren Massen roten Staubes, die im „Dunkelmeer" der westafrikanischen Küste fallen und das Tauwerk der Segelschiffe mit dicken Staubkrusten überziehen, geben uns ein schwaches Nachbild der viel intensiveren Staubüberwehungen, die nach der Diluvialzeit um die ganze Erde auftraten.

Auf festländischem Gebiet wurde das rote Pulver besonders auf spaltenreichen Kalken festgehalten und behielt hier in ariden Karstgebieten vielfach bis zum heutigen Tage seine hellrote Farbe (Terra rossa). Auf feuchtem Boden wurden die roten Staubmengen gebräunt und mögen einem Teil unserer weitverbreiteten Braunerden den Ursprung gegeben haben.

Allein man muß bedenken, daß $^2/_3$ der Erdoberfläche vom Meer bedeckt wird und daß mithin zweimal soviel roter Staub auf seiner Fläche niederfiel. Im Küstengebiet mischte er sich mit den terrigenen Ablagerungen, und verschwand in dem Sedimentgemisch, der unter dem Einfluß der verwesenden Meeresflora zu dem weit verbreiteten Blauschlamm wurde, der alle Schelf- und Küstenzonen bedeckte.

Die oberen Wasserschichten der Hochsee sind mit ungeheuren Wolken kalkabscheidender Schwebetiere erfüllt. Auf 1 qm Fläche bis zur Assimilationsgrenze (400 m) hinab zählt man 500 Millionen lebender Coccolithophoriden (Pontosphaera Huxleyi), und da täglich $^1/_3$ derselben stirbt, bildet sich am Meeresboden darunter in 1000 Jahren eine Kalkschicht von 1 mm. Wenn wir berücksichtigen, daß ähnliche Schwärme von Globigerina, Pulvinulina und Orbulina weite Flächen der wärmeren Meere bedecken, deren Schalen durch Sinkströme zur Tiefe hinabgeführt werden, und sich je nach deren Richtung an bestimmten Stellen mehr als an anderen anhäufen, so müssen sich hier mit dem vom Tropenland stammenden roten Staub solche Mengen von Kalkschalen mischen, daß ein rötliches Sediment entsteht, das nach Behandlung mit Salzsäure große

Übereinstimmung mit dem roten Tiefseeton zeigt. J. MURRAY hat daraus geschlossen, daß der letztere auch am Meeresgrund als Lösungsrest von kalkreichem Globigerinenschlick entstanden sei, während nach unserer Auffassung zwei gleichalterige gemischte Sedimente vorliegen.

Wenn z. B. das Lot unter 33° S. Br. 133° W. L. in 4270 m zunächst 5 cm roten Tiefseeton, darunter 10 cm Kalkschlamm mit zahlreichen Coccolithophoriden enthielt, so halte ich diese für eine diviluale ozeanische, den roten Tiefseeton aber für eine postdilivual vom Festland stammende „äolische" Ablagerung.

Schon PHILIPPI hat die Ansicht vertreten, daß der rote Ton ein indirekt glaziales Sediment sei; würde er gewußt haben, daß der Laterit diluvialen Alters ist, so wäre ihm die hier vertretene Auffassung nicht fremd geblieben. Hatte er doch bei seinen Lotungen an der antarktischen Eiskante (63° S. 82° O.) die überaus merkwürdige Erscheinung beobachtet, daß eine bis 32 cm aus kalkfreiem Diatomeenschlick bestehende Ablagerung auf kalkreichem Globigerinenschlick lag, während das Liegende kalkfreien Glazialschlamm zeigte. Stratigraphisch läßt sich aus dieser Überlagerung ohne weiteres erkennen, daß hier postglazial zunächst die Globigerinen eines warmen Wassers, dann als letzte Bildung die Diatomeen des kalten Südpolarwassers abgelagert wurden.

So kommen wir zu der Auffassung, daß sowohl der antarkische Diatomeenschlick, wie der rote Tiefseeton ganz eigenartige postdiluviale Sedimente sind, die wir in älteren Schichtenfolgen vergeblich suchen.

Diese Überlagerung darf aber nicht, wie E. PHILIPPI annimmt, als „rezente Schichtung" betrachtet werden, sondern ist eine deutliche Formationsgrenze zwischen dem Diluvium und der alluvialen Gegenwart.

Wir gehen bei unseren geologischen und paläontologischen Betrachtungen von der stillschweigenden Voraussetzung aus, daß die geographische Lage der einzelnen Rindenstücke unseres Planeten immer dieselben räumlichen Beziehungen zum Pol und zum Äquator zeigten. Und ich halte es auch aus methodologischen Gründen für richtig, zunächst an diesen Grundlagen geographischer Orientierung festzuhalten. Freilich müssen wir bedenken, und wir haben diese Frage schon auf S. 390 gestreift, daß tektonische Verschiebungen und eigentlich auch alle Faltungen uns im wörtlichen Sinne den Boden unter den Füßen wegziehen, und viele Schlußfolgerungen überaus hypothetisch machen.

Diese Schwierigkeiten mehren sich, wenn wir die neuerdings von E. WEGNER vertretene Auffassung teilen, daß ganze Kontinente auseinandergerissen, verschoben und horizontal verlagert worden seien. Bei der Unmöglichkeit, diese Ansichten am Boden des rezenten Weltmeeres nachzuprüfen, können wir nur die Frage aufwerfen, ob solche von WEGENER angenommenen Verlagerungen großer Erdschollen in den heute landfest gewordenen älteren Meeresgebieten tektonisch noch erkennbar

sind. Aus allgemeinen Gründen müßte man besonders in den kristallinisch gewordenen Massiven Nähte, Verschiebungszonen und mit Tiefengesteinen ausgeheilte breite Narben oder ähnliche Erscheinungen erwarten können.

Betrachten wir von diesem Gesichtspunkt die Profile in Kanada, Skandinavien, Böhmen oder den Sudeten, so scheint uns der Böhmisch-bayrische Pfahl eine größere Zerreißungsfläche zu sein, an der sich die Gneise zwar horizontal verschoben, aber nicht auseinanderbewegt haben.

Das große Granitmassiv der Lausitz und des Riesengebirges könnte andererseits als eine breite auseinandergezerrte Wunde gedeutet werden, die später von Granit erfüllt wurde. Aber alle sonstigen in böhmischem Gneismassiv herrschenden Lagerungsformen, besonders die regelmäßig umzogenen Gewölbe und die in geschwungenen Wirbeln durcheinander bewegten Faltenzüge widersprechen der Annahme, daß größere Schollen der Erdrinde im Sinne von WEGENER horizontal verlagert worden seien. Dennoch erscheint es uns notwendig, bei allen paläographischen Darstellungen auf solche Fälle zu achten, die im Sinne dieser Auffassung bestätigend oder widersprechend geologisch erkennbar sind.

Literatur

Andrée, K., Geologie des Meeresbodens. Leipzig 1920. — De Beaufort, L. F., Fossils of Cretaceous Age in those Deposits. Kon. Akad. van Wetenschappen te Amsterdam. Proceedings XXIII, Nr. 7, 1920, S. 997. — Brandt, K., Über den Stoffwechsel im Meere. Kiel 1899. — Cayeux, L., Fixité du Niveau de la Mediterrannée à l'Epoque historique. Annales de Géographie, Tome XVI, Nr. 86, Paris 1907, S. 97. — Daly, R. A., The Limeless Ocean of Pre-Cambrian Time. Amer. Journ. of Science, XXIII, 1907, S. 93. — Daly, R. A., Pleistocene Glaciation and the Coral Reef Problem. Amer. Journ. of Science, XXX, 1910, S. 297. — Dietrich, F., Untersuchungen über die Böschungsverhältnisse der Sockel ozeanischer Inseln. Greifswald 1892. — Dreyer, F., Die Tripoli von Caltanisetta auf Sizilien. Jenaische Zeitschr. f. Naturw., Bd. XXIV, N. F. XVII, Jena 1890. — Erdmann, E., Die Entstehung der Kalisalzlagerstätten. Zeitschr. f. angew. Chemie, XXI, 1908, S. 1685. — Geickie, S. A., Continental elevation and subsidence. Proc. Geol. Soc., LXXX, London 1904. — Gregory, J. W., The Relation of the American and European Echinoid Faunas. Bull. Geol. Soc. Amer., 3, 1891, S. 101. — Gregory, J. W., The Level of the Sea. The Scottish Geogr. Magazine, 1909, S. 311. — Groll, M., Tiefenkarten der Ozeane. N. F. Geogr.-naturwissensch. Reihe, Heft 2, Berlin 1912. — Molengraaff, G. A. F., On Manganese Nodules in Mesozoic Deep-Sea deposits of Dutch Timor. Kon. Akad. van Wetenschappen te Amsterdam. XXIII, Nr. 7, 1920, S 997. — Molengraaff, G. A. F., Modern Deep-Sea Research in the East Indian Archipelago. The Geogr. Journ., 1921, S. 95. — Murray, J., Deep-Sea deposits. Challenger Report, London 1891. — Murray, J. und Philippi, Die Grundproben der deutschen Tiefsee-expedition, Berlin 1898. — Nathansohn, A., Vertikale Wasserbewegung und quantitative Verteilung des Planktons im Meere. Annalen d. hydrogr. u. maritimen Meteorologie, Berlin 1906. — Oldham, R. D., On the Origin of the Oceans. Quart. Journ. Geol. Soc., LXIII, 1907, S. 344. — Philippi, E., Über das Problem der Schichtung und über Schichtbildung am Boden der heutigen Meere. Zeitschr. d. D. Geol. Gesellsch., Bd. 60, Jahrg. 1908, Heft 3, S. 346. — v. Richthofen, F., Das Meer und die Kunde vom Meer. Berlin 1904. — Schott, G., Meerestiefen im Atlantischen und Indischen Ozean. Deutsche Tiefsee-Expedition 1898—1899. Bd. I, Jena 1902. — Soergel, W., Das Problem der

Permanenz der Ozeane und Kontinente. Stuttgart 1917. — Supan, A., Tiefenkarte des Weltmeeres. Petermanns Mitt., Jahrg. 45, 1899, S. 177. — Supan, Die Bodenformen des Weltmeeres. Petermanns Mitt., XLV S. 177, XLIV S. 151. — Thoulet, M.J., Le Sol sous-marin et les Eaux abyssales. Revue Générale des Sciences. Nr. 10, 1891, S. 326. — Walther, J., Über den Bau der Flexuren an den Grenzen der Kontinente. Jenaische Zeitschr. f. Naturw. 1887. — Wegener, A., Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Braunschweig 1921.

45. Der Salzgehalt des Wassers

Alle festländischen Pflanzen und Tiere der Gegenwart wie der Vorzeit stammen zwar ursprünglich von Wasserorganismen ab, aber sie haben bei diesem Wechsel des Lebensraumes eine so tiefgreifende Umgestaltung ihrer Organisation und ihres gesamten Stoffwechsels erfahren, daß sie trotz ihrer ganz verschiedenen phyletischen Wurzeln viele analoge, ähnliche Einrichtungen besitzen.

Gewöhnlich denkt man in diesem Zusammenhang nur an die festsitzende Lebensweise der Pflanzen und die bilaterale Gestalt der freibeweglichen Tiere mit ihren Beinen und Flügeln und übersieht dabei fast die viel grundlegenderen physiologischen Gegensätze zwischen Landwelt und Wasserwelt.

Das dichte Medium bedingt den Unterschied der Bewegungsorgane, die bald trockene bald feuchte Luft besonderen Schutz gegen Austrocknung, und die großen Temperaturunterschiede Einrichtungen zur Regulierung der Eigenwärme. Besonders aber besitzen die Wasserorganismen eine weiche, schleimige Haut, durch welche überall die für den Stoffwechsel nötigen Gase und Lösungen aufgenommen und die schädlichen Stoffwechselprodukte wieder ausgeschieden werden können.

Dieser Gas- und Wasseraustausch, der für jede Tierart und für jede Rasse verschieden, in engen oder weiteren Grenzen physiologisch abgestimmt ist, und der sogar während der einzelnen Wachstums- und Entwicklungsperioden ganz verschiedene Formen annehmen kann, bedingt jene große Abhängigkeit der Wasserwelt von den chemischen und physikalischen Eigenschaften des umgebenden Wassers, die wir als den „Salzgehalt" bezeichnen; obwohl das im Meere so vorherrschende NaCl hierbei keineswegs allein entscheidend ist.

Aber da erfahrungsgemäß die Bewohner des Salzmeeres von der Lebewelt des Brackwassers, des Süßwassers und der übersalzenen Wüstenseen grundverschieden, und doch innerhalb dieser Lösungsarten ziemlich einheitlich verbreitet sind, so müssen wir uns hier darauf beschränken, die marine Lebewelt des Meeres von der limnischen des Süßwassers und der salinen der Wüstenbecken zu trennen.

Als Bewohner des Festlandes, angepaßt an dessen wechselndes Klima, geschützt durch Kleidung und Lebensgewohnheiten, können wir

Menschen uns kaum eine Vorstellung davon machen, wie eng die physiologischen Wechselbeziehungen der Wasserwelt zu den sie umgebenden Lösungen sind. Jede Veränderung in Dichte, Temperatur, Gas- und Salzgehalt des Wassers muß von dem Wassertier als eine Turgoränderung in den ungeschützten Geweben der Haut und des Kanalsystems empfunden werden und eine schmerzhafte Spannung erzeugen. Deshalb sind die meisten Wasserorganismen stenotherm und stenohalin, d. h. an eine unveränderliche Temperatur und Lösung angepaßt.

Ein Landtier, das ins Wasser fällt, ertrinkt. Eine Landpflanze, die man unter Wasser kultivieren will, stirbt, — ganz ähnlich schädigend, wenn auch nicht sofort tötend, wirkt jede noch so geringe Änderung des Wassers auf die Wasserwelt.

Alle die positiv oder negativ gerichteten Bewegungen kleiner und großer Wassertiere, welche J. Loeb durch Einwirkungen bestimmter Lichtmengen (Phototropismus), Salzbestandteile (Chemotropismus), Nahrungsstoffe (Trophotropismus) oder Sexualreize (Gonotropismus) mit geradezu automatisch erfolgender Wirkung zuerst kennen gelehrt hat, gehören in diese Zusammenhänge.

Groß ist die Zahl der hierbei in Frage kommenden binomischen Umstände, mannigfaltig die dadurch ausgelöste Reizwirkung, aber nur ganz wenige Wasserorganismen sind so unempfindlich, so an den Wechsel angepaßt, daß man sie als eurytherm und euryhalin bezeichnen kann.

Bemerkenswert ist es besonders, daß die meisten Wassertiere einen sehr allmählichen Wechsel ohne Schaden ertragen, aber unter jeder raschen Veränderung des Mediums schwer leiden. Es handelt sich also um eine physiologische Einstellung des Individuums, der Rasse oder der Art, die bestimmend ist für ihre Verbreitung in Raum und Zeit.

In einem früheren Abschnitt haben wir schon darauf hingewiesen, daß die scheinbar so einfache Frage, ob ein fossiles Lebewesen zur Luftwelt oder zur Wasserwelt gehört hat, in vielen Fällen nur schwer entschieden werden kann. Nur wenn man alle lithologischen Erscheinungen des umhüllenden Gesteins sorgfältig prüft, kann die eingeschlossene Flora oder Fauna richtig eingeordnet werden.

Diese Schwierigkeiten mehren sich, sobald man innerhalb der die Vadose bewohnenden Wasserwelt die prinzipiell so wichtigen Faziesgebiete, welche auf dem chemischen Gehalt der Lösung beruhen, zu trennen versucht. Wenn man überhaupt „Paläogeographie" treiben, wenn man den Gegensatz von Festland und Meer kartographisch niederlegen will, dann muß die Vorfrage entschieden werden, ob es sich an einzelnen Fundorten wasserbewohnender Lebewesen um eine marine, limnische oder saline Lebewelt handelt. Jede dieser weitverbreiteten chemischen Fazies bedingt eine völlig anders geartete Umwelt und führt zu ganz verschiedenartigen paläontologischen Schlüssen.

Die marine Fazies des Wassers ist die gemeinsame Mutter aller anderen Floren und Faunen. Die räumlich ungetrennte Einheit des Weltmeers, wie seine Wellen und Strömungen bedingen es, daß alle darin mündenden Flüsse mit ihrem ganz verschiedenen Lösungsgehalt so gründlich durcheinander gemischt werden, daß überall ein fast übereinstimmendes Lösungsgemisch, der jeweilige Salzgehalt des Ozeans entsteht. Seine Komponenten können im Laufe langer Perioden wechseln, das qualitative Verhältnis der Salze im Triasmeer kann von dem des Jurameers verschieden gewesen sein, aber die relative Mischung der Salze, wie sie Forchhammer zuerst für das rezente Weltmeer nachgewiesen hat, war aus allgemein ozeanographischen Gründen innerhalb jeder Periode überall gleich.

Wir können diese Annahme durch die große Verbreitung zahlreicher einzelner Leitfossilien, ebenso wie ganzer Faunen in jeder Phase der Erdgeschichte beweisen. Besonders die oft weltweite Verbreitung mariner Bodentiere von den Archäocyathiden des Kambrium bis zu den Riffkorallen der Gegenwart, die nur durch die Wanderung meroplanktonischer ungeschützter Larven verständlich gemacht werden kann, spricht eine völlig eindeutige Sprache.

Die jeweilige Einheit im Salzgehalt des Meeres bedingt also, daß in jeder geologischen Formation eine einheitliche Lebewelt im Ozean vorhanden war und manche allgemeine Änderung in der systematischen Zusammensetzung und dem Formenbestand der zeitlich aufeinanderfolgenden Faunen könnte sehr wohl mit einer qualitativen allmählichen Änderung des ozeanischen Salzgemisches zusammenhängen.

Am Boden des Meeres herrscht meist völlige Ruhe. Die stürmischen Wogen, die seine Oberfläche aufregen, verlieren rasch ihre Kraft. Die oberflächlichen Meeresströmungen vermischen beständig die Wasser des Meeres mitsamt der darin enthaltenen Schwebewelt und Treibwelt, und erzielen so jene gleichartige Verteilung der Faziestiere über alle ähnlich gebauten Siedlungsgebiete. Zahlreiche geologische Erfahrungen über die Verbreitung der Leitfossilien sind die Folge dieser marinen Voraussetzung.

Völlig andere Folgerungen ergeben sich bei Betrachtung der limnischen Lebewelt im sogen. „Süßwasser“. Ist schon dieser Name irreführend, so erheben sich zahlreiche Schwierigkeiten, wenn wir seine Verteilung und die Umstände seiner Ausbreitung ins Auge fassen.

Alle Meerestiere leben unter dem Meeresspiegel, während das Limnobios über demselben verbreitet war. Wir gewinnen also, indem wir ihre bodenständigen Reste verfolgen, zunächst für jede Formation ein wichtiges Hilfsmittel, um die ganze Erde in zwei topographisch verschiedene Regionen einzuteilen.

Die Vadose ist in jenem beständigen Kreislauf begriffen, der, von der Sonnenwärme und der Schwerkraft geleitet, die verschiedensten chemischen Lösungen verdampft und daraus chemisch reines Wasser bildet, das nach kürzerem oder längerem Verweilen in der Atmosphäre durch die Schwerkraft wieder zur Erde herabfällt, und nun in einer beständigen Bewegung nicht allein bergab, sondern zugleich in der Richtung des Gefälles und beschränkt auf das schmale Band der Flußrinne bis zum nahen oder fernen Meeresufer leitet. Nur wo die Flußrinne periodisch oder dauernd flächenhaft verbreitet ist, wo also ein Schaltsee auftritt, mindert sich die Flußgeschwindigkeit und es bildet sich eine größere Fläche für die Ansiedelung der Lebewelt.

Die Anfänge der Wasserläufe sind in der Regel chemisch rein, oder wenigstens von nur einer vorherrschenden Lösung (Salz, Kalk, Gips) bestimmt. Je mehr Quellen und Flüsse zusammentreten, desto verwickelter wird die Lösung, die nach dem Meere eilt, und mit jedem Schritt vervielfältigt sich das Lösungsgemisch. Dann kommt jene seltsame Übergangszone, oder besser biologische Scheidewand des Brackwassers, wo alle möglichen Übergänge und Gegensätze chemischer Fazies neben-, nach- und übereinander auftreten. Erst jenseits dieser Grenzregion beginnt in den abfließenden Gebieten das einheitlich gesalzene Meer.

Die limnische Lebewelt der Flüsse steht zunächst unter dem Einfluß der beständig in einer ganz bestimmten Richtung oft sehr lebhaft erfolgenden Bewegung. Jeder Katarakt und jeder Wasserfall bildet für viele Tiere und Pflanzen eine aktiv unübersteigliche Schranke. Besonders alle schwebenden Larven, alle Samen und Sporen können nur von der Quelle zum Meer, nicht umgekehrt verfrachtet werden. Nur besonders kräftige Schwimmer vermögen stromaufwärts zu wandern. Leichter sind die Wanderungen über wechselnde Wasserscheiden zu beschreiten, besonders wenn horizontal geschichteter Untergrund oder eine weite Fastebene, wie sie die tiefgründige Verwitterung des Tropenlandes so leicht erzeugt, Bifurkationen und andere lockere Flußverbindungen ermöglicht.

Hier bilden sich auch leicht weite sumpfige Schaltseen, Moorlager und Grasbarren, die besonders günstige Lebensbedingungen und Standorte für die Welt des Süßwassers schaffen.

Die geologische Geschichte jedes genauer bekannten Flußgebietes zeigt uns die große Veränderlichkeit seiner Teile und seiner Zusammenhänge. Wie die Donauversickerung den Übergang ihres Oberlaufes in das Flußsystem des Rheins anzeigt, wie die Bifurkation des Orinoko uns den hydrographischen Zusammenhang mit dem gewaltigen Stromnetz des Amazonas vor Augen führt, kann eine leichte Verlagerung der Wasserscheiden das ganze Flußnetz eines großen Landes umgruppieren und dabei alle Bewohner nach neuen Wohnplätzen führen.

Indem wir das Meer als die Heimat aller anderen Lebensformen betrachten, ergeben sich folgende Gesichtspunkte für die Besiedelung des Süßwassers und damit auch des Festlandes:

Die marine Wasserwelt muß zunächst das Brackwassergebiet der Flußmündung durchschreiten, dessen beständig wechselnder Salzgehalt, dessen rasche Sedimentation durch die elektrolytische Wirkung des Salzes und ebenso durch die Verlagerung, Verödung und Neubildung der Deltarinnen große biologische Widerstände bietet. Da eine Besiedelung der Flüsse mit Tieren das Vorhandensein einer Nahrungsquelle voraussetzt, mußte zunächst die Meeresflora einwandern. Die beständige Strömung in der Flußrinne macht passive Drift unmöglich, und so werden sich nur solche Pflanzen in einem Flußsystem ansiedeln können, deren Keime, Sporen, Samen oder Teilstücke durch die Luft verfrachtet werden.

Auch die schwebende Mikrofauna kann nur auf diesem Wege den Ober- oder Mittellauf eines Flusses erobern, während der eigentliche Unterlauf vom Meer aus leicht besiedelt werden kann. Das Einwandern von nektonischen Cephalopoden, Arthropoden und Wirbeltieren ist leicht verständlich, wenn ihre Gewebe euryhalin sind.

Aber es ergeben sich noch andere Schwierigkeiten, wenn wir die geographische Verteilung der Flußsysteme betrachten. Alle die geschilderten Widerstände werden innerhalb des nivalen Klimagebietes am größten sein. Der lange Frost, die Eisdecke und besonders der Eisgang der Flüsse und die hierbei gebildeten großen Mengen salzfreien Schmelzwassers werden das passive oder aktive Eindringen von Meeresorganismen fast unmöglich machen.

Die Besiedelung eines nur periodisch mit dem Meere verbundenen ariden Flußsystems oder eines Wüstensees wird zwar dadurch erschwert, daß die Zugangspforte nur vorübergehend offen steht, aber ebenso dadurch erleichtert, daß alle zufällig in einem abkommenden Wüstenfluß eingedrungene Siedler dort gefangen bleiben und nicht wieder das Meer erreichen können. Es kommt dazu, daß solche aride Flüsse oft sehr salzreich sind, und daher ähnliche biologische Wirkungen wie das Meerwasser auf die Gewebe haben. Wenn man nun außerdem bedenkt, daß die Wasserscheiden eines ariden Gebietes leicht veränderlich sind, und daß diese topographisch oft kaum hervortretenden Grenzen ebenso leicht zu Wanderwegen werden können, dann kann man verstehen, daß viele abflußlosen Flußsysteme und Seebecken eine auffallend große Zahl von marinen Einwanderern bergen. Die Fauna der asiatischen Wüstenflüsse, wie der kleinen und großen Endseen, bis zum Balkasch, Aral und Caspi ist tiergeographisch oft behandelt worden. Meist wurde sie als Reliktenfauna betrachtet und in manchen Fällen mag diese Auffassung richtig, allein es scheint auch der hier geschilderte direkte

Weg oft beschritten worden zu sein. Die Old-red-Periode des nordischen Devon und das Wüstenklima, das vom Perm bis zur Keuperzeit weite Flächen Mitteleuropas beherrschte, bietet uns hierfür zahlreiche Belege.

Wir haben die Vorgänge, die zur Besiedelung der großen devonischen Wüstenseen führten, mehrfach geschildert und ihre erdgeschichtliche Bedeutung für die Entstehung der Luftatmung bei Arthropoden und Wirbeltieren betrachtet.

Sehr reich und eingehender Untersuchung wert sind auch die Böden der vergänglichen permischen Seen, die als rote Letten, kohlige Schiefertone, chemisch niedergeschlagene Kalke, Eisen, Kupfer oder andere Metalle enthaltende Schichtenglieder den fossilleeren Sandsteinen und Konglomeraten des Rotliegenden eingeschaltet sind. Oft wurden sie von Ganoiden besiedelt: der unterpermische Palaeoniscus wratislavensis verwandelt sich im Kupferschiefersee in den P. Freieslebeni, der als endemischer Bewohner des flachen Wasserbeckens in unzähligen Exemplaren die schwarzen Schiefer bedeckt. Auf etwa 1000 derselben zählt man kaum einen breiten Platysomus, der beim Eindringen des Zechsteinmeeres vom Ozean hereinwanderte, und noch viel seltener sind die vereinzelten Meeresfische: Dorypterus, Janassa, Menaspis, Wodnika, die als kostbare Fremdlinge gelegentlich zwischen jenen gefunden werden.

Ganz besonders interessante Fragen knüpfen sich an die Verbreitung des kleinen Haifisches Acanthodes. Diese ganz isolierte Familie scheint für solche Wanderungen besonders geeignet gewesen zu sein, denn schon im Devon treten die ersten Vertreter auf, in karbonischen Seen sind sie weit verbreitet und im Rotliegenden werden ihre feinen Flossenstacheln durch ganz Deutschland häufig gefunden; das Studium ihrer Lebensweise dürfte interessante Schlaglichter auf die Organisation der kleinen Fische werfen.

Aber auch die Krebse sind durch Gampsonyx und einige ähnliche Formen vertreten, deren letzte rezente Verwandte in Südaustralien und Tasmanien leben, dem Sammelgebiet so vieler uralter seltsamer Bewohner eines ariden Landes. Auch Praearcturus und Arthropleura mögen hier erwähnt werden, die so auffallend an Trilobiten erinnern, und eine so eigenartige Verbreitung haben. Kein Teil der Vadose eignet sich so zur Isolierung und Spezialisierung einzelner Faunenelemente, wie ein Endsee in einem Wüstenland.

Viel leichter erscheint es bei flüchtiger Betrachtung, daß ein dauernd mit dem Meere verbundenes Flußsystem mit seinen kleinen und großen Schaltseen, Altwassern und Ufersümpfen vom Meere erobert werde. Aber die Gegenwart zeigt uns nur eine auffallend kleine Zahl von marinen Vertretern in solchen seichten Gewässern. Deutlich erkennt man, daß eine sehr scharfe Auslese erfolgt sein muß, und daß von großen Gruppen nur eine oder wenige Gattungen hier heimisch geworden sind. Echinodermen und Brachiopoden fehlen in der Gegenwart ganz. Coelenteraten

und Bryozoen sind selten, und die Häufigkeit einiger Krebse, wie Astacus oder Gammarus, beruht nicht auf der Gattungszahl, sondern auf der Zahl der Arten, Rassen und Individuen.

Aber es bleibt doch die Frage offen, ob nicht viele fossile Gattungen aus den genannten Gruppen früher einmal ins Süßwasser eingedrungen sind. Die große Zahl von Paradoxides bohemicus, die man bei Skrey fast mit Ausschluß anderer Fossilien auf den Schichtflächen der schwarzen Schiefer beobachtet, die Agnostus, Phillipsia, Dechenella und andere Gattungen verdienen in dieser Hinsicht eine Prüfung. Auch die Verbreitung mancher leitender altzeitlicher Brachiopoden, Muscheln und Cephalopoden deutet auf limnische Lebensweise.

Nur die schwimmenden Fische scheinen in größerer Auswahl in die Flüsse eingedrungen zu sein, allein wenn wir ihren Laichort als ihre eigentliche Heimat betrachten, fallen eine ganze Anzahl aus, die nur im späteren Entwicklungsstadium das Süßwasser bewohnen.

Fast noch merkwürdiger ist es, daß kein Süßwassertier sich wieder nachträglich an das Leben im Meer angepaßt hat, obwohl doch die beständige Strömung des Flußwassers eine solche Rückwanderung aller passiv treibender Jugendformen sehr erleichtert.

Das Blut der Meerestiere hat, wie ihre meisten Gewebe, immer die Dichte des umgebenden Wassers, während das Blut der Süßwassertiere einen größeren Salzgehalt als die Umgebung zeigt und schon dadurch seine Herkunft aus einem dichten Medium beweist.

P. Pelseneer, der die Entstehung der Süßwasserfauna zum Gegenstand eingehender und geographisch vergleichender Untersuchungen gemacht hat, kommt zu dem auffallenden Ergebnis, daß in der Gegenwart die meisten marinen Formen des Süßwassers innerhalb des Tropenlandes auftreten. Besonders in den Flüssen der indochinesischen Provinz finden sich eine Aktinie und verschiedene Gattungen von Schnecken, Muscheln, Bryozoen, Amphipoden, Dekapoden, Haien und Knochenfischen des Meeres. Das Meerwasser ist hier infolge der großen Regenmengen auffallend salzarm, so daß Meerestiere leicht in die wasserreichen Flüsse hineindringen können.

Man hat vielfach durch methodische Versuche geprüft, welche Tiere eine wesentliche Verdünnung des Salzwassers ertragen. Auch ich selbst habe in Neapel oft reich besiedelte Aquarien langsam ausgesüßt. Aber solche in kurzen Zeiträumen erfolgende Experimente sind nicht überzeugend, besonders wenn man nur ausgewachsene, an eine bestimmte Umwelt wohlangepaßte und gewöhnte Tiere verwendet.

Lehrreicher erscheinen die von Pelseneer angestellten Versuche mit Jugendformen von Meerestieren, die unter möglichst unveränderlicher Temperatur langsam aus normal ($^1/_1$) gesalzenem Seewasser in reines Süßwasser ($^5/_5$) versetzt wurden.

Die aus seiner Tabelle herausgenommenen Beispiele zeigen, daß die miteinander im Süßwasser lebenden Larven der Meerestiere ganz verschieden reagieren; ein Kreuz bezeichnet das Aufhören der Entwicklung:

Seewasser	1/3	1/2	5/9	3/5	2/3	3/4	4/5	Süßwasser
Philine aperta . .	†							
Mactra subtruncata	—	†						
Loligo media . .	—	—	†					
Buccinum undatum	—	—	—	†				
Purpura lapilla .	—	—	—	—	†			
Pholas candida .	—	—	—	—	—	†		

Man sieht deutlich, daß der Gegensatz von stenohalin und euryhalin durch zahlreiche Übergänge verknüpft wird.

Mit fossilen Tieren können wir solche Versuche nicht anstellen, und doch ist es in verschiedener Hinsicht ungemein wichtig, von einer fossilen Art zu entscheiden, ob sie im Meer oder im Süßwasser lebte. Es knüpft sich an diese Feststellung zunächst die Frage, ob das sie umhüllende Gestein im Meer oder auf dem Festland entstanden ist, wo wir also für die betreffende Periode die Küstenlinie zu zeichnen haben. Dann müssen wir uns darüber klar werden, ob die morphologischen Charaktere einer Art oder Gattung durch freie Selektion unter den marinen Lebensgenossen, oder in isolierter Abschnürung eines Binnensees erworben wurden und wie wir sie phyletisch einzuordnen haben.

Die systematische Zusammensetzung der rezenten Welt des Süßwassers kann uns nichts helfen. Wenn heute Astacus nur im Süßwasser vorkommt, so konnte auch ein kambrischer Trilobit außerhalb des Meeres gelebt haben, und wenn jetzt Dreissenia in die Flüsse einwandert, so können ebenso leicht andere marine Triasmuscheln in die salzarmen oder übersalzenen Seen der Buntsandsteinwüste oder des Keuperlandes eingedrungen sein.

Die Ostseefauna lehrt uns, daß die meisten Nordseetiere beim Einwandern durch die dänische Straße kleiner werden; ob dies auf einem früheren Absterben infolge ungünstiger Lebensverhältnisse beruht, oder ob die kleineren Varietäten ebenso alt und ausgewachsen sind, wie ihre großen Verwandten, kann nur experimentell entschieden werden.

Die Foraminiferen der See bilden eine mit dem Salzgehalt des Wassers an Kalk abnehmende Schale, bis man endlich im halbsüßen Wasser nur noch Miliolina, Truncatulina, Polystomella, Nonionina und Rotalia mit zarten kalkfreien Chitinschalen findet.

Manche im Brackwasser gedeihenden Muscheln (Mytilus, Pinna) zeigen ein starkes Vorwiegen der Prismenschicht, so daß man auch Inoceramus als Bewohner solcher Gewässer betrachten und ihre allmähliche Einwanderung ebenso verfolgen möchte, wie die Umwandlung von Posidonomya, Schizodus oder Trigonia.

Unter den Ammoniten deutet die polyphyletisch wiederholt auftretende „Ceratiten" Lobenlinie auf eine eigenartige Verkümmerung, die wohl auch mit verändertem Salzgehalt zusammenhängt.

Besonders interessante Aufschlüsse versprechen die altzeitlichen Arthropoden, Trilobiten, Limuliden, Gigantostraka usw. für die Lösung solcher Probleme. Der Einfluß des veränderten Salzgehalts auf die Ganoiden und Knochenfische fordert ebenfalls zu besonderen Untersuchungen heraus; manche morphologische Eigenart in deren Körpergestalt, Schuppenkleid oder Zahnbildung hängt sicherlich mit diesem Faktor zusammen.

Ein zweites Kriterium für die hier behandelte Frage bietet die Zusammensetzung einer fossilen Fauna. Das Problem der Lebensgenossen, das in einem späteren Abschnitt noch eingehender zu behandeln sein wird, tritt uns in diesem Zusammenhang schon entscheidend entgegen:

Jede fossile Lebewelt setzt sich aus gleichzeitig lebenden und vielfach biologisch voneinander abhängigen Arten zusammen, die entweder denselben Lebensraum oder benachbarte Lebensräume bewohnen und erst im Tode denselben Fundraum erfüllen. Je günstiger die Lebensbedingungen eines solchen Gebiets sind, je mannigfaltigere Möglichkeiten der Anpassung und Wechselbeziehungen vorhanden sind, desto größer ist die Zahl der dort lebenden Arten, Gattungen und Familien. Das normal gesalzene stenohaline und stenotherme Meerwasser, als die Mutter aller anderen Formenkreise, beherbergt daher die größte Formenmannigfaltigkeit und *am Boden des Meeres bildet sich daher eine an Arten und Gattungen reiche Ablagerung.* Die Zahl der hier gleichzeitig lebenden Individuen entspricht zwar aus mehrfach behandelten Gründen nicht der Zahl der gut bestimmbar erhaltenen Exemplare, aber wenn man benachbarte Fundorte desselben Fundraumes zusammenfaßt, läßt sich doch eine mittlere Zahl leicht gewinnen, und viele paläontologische Arbeiten enthalten in dieser Hinsicht schon wertvolle Zusammenstellungen der Häufigkeitsziffer.

Sobald sich der Salzgehalt des Lebensraumes verändert, ändern sich diese Zahlenverhältnisse in auffallender Weise. Am verhängnisvollsten ist ein beständiges Schwanken, wie es im Ästuarium großer Flüsse durch die Gezeiten, durch Verlagerung der Deltaarme und den Wechsel des Wasserstandes eintritt. Das hier entstehende Brackwasser ist für die meisten Tiere verderblich, und nur wenige Gattungen oder Arten vermögen darin zu leben. Da aber gerade hier eine Fülle von verwesender

Nahrung vorhanden ist, vermehren sich diese Formen in ungemessener Weise und locken andererseits zahlreiche Raubtiere an, die hier reiche Beute finden. Dazu gesellt sich die Drift der Treibwelt: leere Cephalopodenschalen, Seelilien, Cirrhipedien, Muscheln, Schnecken, Würmer und andere an Treibholz angeheftete Bodentiere.

Der Boden der Hochsee wird also eine ozeanische Lebewelt zeigen, während am Grunde der ihr angegliederten Nebenmeere eine artenärmere, aber oft individuenreiche thalassische Fauna eingebettet wird, bis sich in den Ästuarien der Delta die brackische Fauna einstellt.

Noch stärker ist die Auslese der Formen beim Übergang in das süße Flußwasser und die dem hydrographischen System eingefügten Schaltseen, Sümpfe und Altwasserschlingen. Die hier gefundene limnische Fauna zeichnet sich stets durch Artenarmut und großen Individuenreichtum aus.

Dasselbe gilt für die salinen Wasser der abflußlosen Wüsten, in denen die vereinzelten Einwanderer, nachdem sie eine Wasserscheide überschritten haben oder beim Abkommen des versiegten Unterlaufes eine offene Eingangspforte gefunden hatten, sich rasch vermehren können und in dem schrumpfenden versalzenden Binnensee von eintrocknendem Schlamm rasch hermetisch umschlossene wunderbar erhaltene Funde bilden. Besonders die Fischfauna des Oldred und mancher Keuperseen bietet glänzende Beispiele für diesen Vorgang.

Diese verschiedenen nebeneinander auftretenden Lösungen und darin gedeihenden Faunen müssen sich in der Schichtenfolge des fortlaufenden Profils ganz verschieden verhalten, je nachdem ein Meer längere Zeit besteht oder sich verlagert.

An den Grenzen eines stabilen Meeres wird sich ein beständiges Oszillieren der Wassertiefe, der Zuflußmenge und der Küstenlinie geltend machen und daher müssen die oben geschilderten Faunen in beständiger Wechsellagerung übereinander auftreten.

Bei einer Transgression werden wir über saline oder limnische Faunen zunächst vielleicht die thalassische und endlich die ozeanische Fauna übergreifen sehen, während eine Regression je nach dem dort herrschenden Klima zu fossilarmen salinen oder versteinerungsreichen, aber artenarmen limnischen Schichten führt.

Noch viel veränderlicher sind die hydrographischen Grenzen eines ariden Wüstenlandes, innerhalb dessen die Verdunstung über die Niederschläge überwiegt. Zunächst bestimmt und verändert jeder einzelne Ruckregen die Lage der sein Abflußgebiet umgrenzenden Wasserscheide und kann die Bewohner der einen Wanne leicht mit denen einer benachbarten Depression vermischen. Dann aber kann das meist vom Weltmeer abgetrennte System immer wieder durch eine größere Menge

von Niederschlägen mit diesem verbunden werden; der ausgetrocknete Fluß kommt ab und bildet vorübergehend eine Eingangspforte für die Meeresfauna, die um so leichter beschritten werden kann, weil der Wüstenfluß selbst salzreiches Wasser führt. Aber ebenso leicht, wie diese Verbindung geknüpft wurde, wird sie vielleicht in einer folgenden Trockenperiode getrennt, und so kommt es zu Selektionserscheinungen und Anpassungen, die wir in einem späteren Abschnitt über biologische Isolierung noch behandeln werden.

Die bionomischen Erscheinungen der Gegenwart können uns zwar lehren, auf welchem Wege das Süßwasser und die Salzseen besiedelt werden können und welche Eigenschaften die an diese neuen Lebensräume angepaßten Organismen erworben haben — aber die systematische Stellung der heutigen Lebewelt des Süßwassers kann uns nicht darüber aufklären, welche fossilen Vertreter der einzelnen Tiergruppe früher in Süßwasser- oder Salzseen gelebt haben.

Wie man aus der Organisation von Astacus nicht erkennt, daß diese Gattung in Süßwasser so verbreitet ist, so kann man aus morphologischen Charakteren nicht schließen, ob ein altzeitliches Wassertier zu den Bewohnern des Meeres, der Salzpfannen oder der Süßwasserseen gehört.

Nur die Meereswelt ist monophyletisch, während die limnische und saline Lebewelt immer wieder neu entstanden sein kann und muß.

Beim Einwandern mariner Formen in Süßwasserbecken erwerben sie in Anpassung an die dort herrschenden bionomischen Umstände besondere Eigenschaften, die meist als homolog betrachtet werden, obwohl sie vielleicht ebenso oft nur konvergente Analogien sind. So erscheint es schwer verständlich, daß sich die devonische Amnigenia oder die karbonische Anthracosia, durch die ganze Mittelzeit hindurch lebend, zuletzt in die neuzeitliche Unio direkt verwandelt habe. Wahrscheinlich sind die dünnschaligen Süßwassermuscheln mehrfach polyphyletisch aus verschiedenen Ahnen entstanden.

Andererseits setzt die bekannte Entwicklungsweise von Schizodus, Myophoria zu Trigonia einen Übergang von salinischen zu marinen Formen voraus, dessen paläobiologische Seite eingehend untersucht werden sollte.

Auch die devonischen Spiriferiden verdienen eine eingehende Untersuchung der in ihrem Lebensraum herrschenden Umstände.

Die Einschaltung salinischer Wüstenseen und limnischer Seeablagerungen zwischen marine Schichtenfolgen, wie sie in Deutschland und England vom Devon bis zur Kreidezeit bekannt sind, werden uns als Hintergrund phyletischer Formenreihen noch viele wertvolle erdgeschichtliche Zusammenhänge enthüllen.

Im allgemeinen scheint das Süßwasser eine biologische Sackgasse zu bilden, in welche immer wieder andere Arten eingedrungen sind, um sich darin in eigenartiger Richtung zu verändern, in zahllosen Resten die gleichzeitigen Ablagerungen zu erfüllen und schließlich wieder auszusterben; während die unerschöpfliche marine Heimat allen Lebens orthogenetisch und mit gleichen Schritten eine Fauna in die andere verwandelte.

Literatur

Allen, H. S., The Settlement of Solid Matter in fresh and Salt Water. Nature, London 1901, Bd. LXIV, S. 279—280. — Antipa, Gr., Wissenschaftliche und wirtschaftliche Probleme des Donaudeltas. Anuarul Institutului Geologic al Romaniei, Bukarest 1915, Bd. VII, 1. Heft. — Barrel, Josef, Criteria for the Recognition of Ancient Delta Deposits. Geological Soc. of Amer. Bull. 1912, Bd. XXIII, S. 377—446. — Böhm, J., Zusammenstellung der Inoceramen der Kreideformation. Jahrb. d. Preuß. Landesanst. 1911, XXXII, Inoceramus Cripsi, Abhandl. d. Preuß. Landesanst. N. F. 56. Heft, 1909. — Brandt, Das Vordringen mariner Tiere in den Kaiser-Wilhelm-Kanal. Zool. Jahrb. System, IX, S. 337. — Clarke, J. M., Estheria in Devonian of New York aus Carboniferous of Ohio. Rpt. N. Y. State Palaeontology, 1900. — O'Connell, Majorie, The Habitat of the Euripterida. Pap. pres. before the New Acad. of Sciences, Nov. 1912, Meeting. — Daly, Reginald A., The Limeless Ocean of Pre-Cambrian Time. Amer. Journ. of Sc., Bd. XXIII, 1907, S. 93. — Fuchs, Th., Beiträge zur Kenntnis fossiler Binnenfaunen. Jahrb. d. Geol. Reichsanst., Wien 1870, XX. Bd., 3. Heft, S. 343. — Grabau, A. W., Early Palaeozoic Delta Deposits of North America. Bull. of the Geol. Soc. of Amer., Bd. XXIV, 1913, S. 399. — Hind, Wh., A Monograph on Carbonicola. Anthracomya and Naiadites. Palaeontographical Soc., 1894—1896, Bd. 48—50. — Hohenstein, V., Beiträge zur Kenntnis des mittleren Muschelkalkes und des unteren Trochitenkalks am östlichen Schwarzwaldrand. Geol. u. paläont. Abhandl., N. F. Bd. 12, Heft 2, Jena 1913. — Hyatt, Alpheus, Pseudoceratites of the Cretaceous. Period. U. St. Geol. Surv., Monogr. XLIV, 1903. — Jacobsen, J. P. and Johansen, A. C., The changes in specific gravity of plagic fisheggs and the transportation of same in danish waters. Meddelelser fra Kommissionen for Havundersogelser ser. Fiskeri, Kjöbenhavn 1908, Bd. III, Nr. 2. — Jaworski, Ein Beitrag zur Stammesgeschichte der Austern. Zeitschr. f. ind. Abst.- u. Vererbungslehre 1913, Bd. 9. — Jones, Rup., Monograph of the fossil Estheriae. Paleontolog. Soc. 1863, XIV, S. 31. On fossil Estheriae and their distribution. Quart. journ. geol. Soc., London 1863, XIX, S. 87. — Murray, J., and Irvine, R., On the Chemical Changes in the Composition of the Sea-Water associated with Blue Muds on the Floor of the Ocean. Royal Society of Edinburgh, 1893, XXXVII, Part II, Nr. 23, S. 481. — Neumayr, Melchior, und Paul, C. M., Congerien- und Paludinenschichten Slavoniens. Abh. d. Geol. Reichsanst., 1875, Bd. VIII, Heft 3. — Pelseneer, L'origine des animaux d'eau douce. Bull. Acad. Belgique 1906. — Philippi, E., Die Ceratiten des oberen deutschen Muschelkalkes. Paläont. Abhandl. 1901, N. F. Bd. 4 (8), Heft 4. — Quincke, G., Über die Klärung trüber Lösungen. Verh. d. Naturhist.-Mediz. Ver. Heidelberg 1904, N. F. Bd. VII, S. 97—104. — Ramsay, W., On the Influence of Various Substances in Accelerating the Precipitation of Clay Suspended in Water. Quart. Journ. of the Geol. Soc. of London 1876, Bd. XXXII, S. 129—133. — Scharff, R. F., On the Origin of the Irish Land and Freshwater Fauna. Royal Irish Academy Proceedings November 12, 1894, S. 479. — Schott, Gerhard, Die Verteilung des Salzgehaltes im Oberflächenwasser der Ozeane. Pet. Mitt. 1902, Bd. XLVIII, S. 217. — Usiglio, J., Analyse de l'eau de la Méditerranée sur les côtes de France. Annales chem. phys. and ser., 1849, Bd. XXVII, S. 92—107, 172—191. — Walther, J., Über die Fauna eines Binnensees in der Buntsandsteinwüste. Centralbl. f. Min., Geol., Paläont., 1904, S. 5—12. — Woods, H., The evolution of Inoceramus in Cretaceous Period. Quart. Journ. Geolog. Soc., London 1912, Bd. XLVIII.

46. Die Wassertiefe

Von den äußeren Umständen, unter denen eine fossile Art oder Fauna gelebt hat, interessiert den Paläontologen am meisten eigentlich die Wassertiefe. Unter der Voraussetzung eines gleichmäßig sinkenden Meeresgrundes erscheint sie zugleich als der Ausdruck für den Abstand von der Küstenlinie, und als Symbol für zahlreiche andere, das Leben der Wasserwelt bestimmenden klimatischen Elemente. „Strand", „Flachsee" und „Tiefsee" gehören zu den bei paläographischen Diskussionen am meisten verwendeten Begriffen und die Ergebnisse der Tiefseeexpeditionen wurden gerade von Geologen am lebhaftesten besprochen.

Unter dem Einfluß solcher Gesichtspunkte habe ich die Dredschlisten zahlreicher ozeanographischer Expeditionen methodisch durchgearbeitet, und in meiner „Lebensweise der fossilen Meerestiere" für Hunderte von rezenten Arten die Wassertiefe ihres Fundorts zusammengestellt, um dem paläographisch arbeitenden Paläontologen ein bequemes Nachschlagewerk zu bieten, mit Hilfe dessen die Tiefe, in der eine fossile Fauna gelebt haben mochte, leicht zu bestimmen wäre.

Aber während ich lange Jahre mit diesen Untersuchungen beschäftigt war, kalte und warme Meeresteile mit dem Schleppnetz untersuchte, und ganze Faunen in meinen Versuchsaquarien studierte, wurde mir selbst immer deutlicher, daß die Wassertiefe, in der eine rezente Art verbreitet ist, von zahlreichen binomischen Umständen beherrscht wird, so daß die Tiefe in Metern, von der Meeresoberfläche aus gemessen, keineswegs als Ausdruck der bionomischen Umwelt gelten darf. Je mehr Listen man vergleicht, desto größer werden die Schwankungen in der Tiefenzahl und desto schwieriger erscheint es, mit einer solchen Zahl die Lebensumstände einer Art zu kennzeichnen.

Im Gegensatz zu den Höhenlinien, welche auf dem Festland die Gebirge umziehen, und einzelne Klimagürtel von annähernd ähnlicher Breite mit verschiedenen Faunen und Floren abzutrennen erlauben, sind die Isobathen eines mit Wasser gefüllten Beckens von ganz ungleicher bionomischer Bedeutung. Denn die das Leben der Wasserwelt bestimmenden Umstände: Licht, Wärme, Wellenbewegung und Untergrund werden von Faktoren geregelt, die sich nicht nach zehn oder hundert Metern gliedern lassen. Selbst wenn genaue Zahlen über die Tiefe vorliegen, in der eine Art am häufigsten gefunden wird, so ist damit noch nicht bestimmt, ob irgend eine verwandte rezente oder fossile Art dieselbe Wassertiefe bevorzugt.

Die in das Wasser eindringenden Lichtstrahlen werden rasch absorbiert; schon in 2 m Tiefe sind 50% der roten und 80% der gelben Lichtstrahlen verschwunden und bei 300 m sind im Seewasser meist auch die anderen Strahlen ausgelöscht, so daß von hier ab völlige Dunkel-

heit herrscht. Aber bei niedrigem Sonnenstand in höheren Breiten, oder in trübem Wasser wird diese Assimilationsgrenze viel früher erreicht. und damit auch die untere Grenze des Pflanzenlebens bestimmt.

Hält man rezente Meerestiere in einem verdunkelten Becken. d. h. unter den ihnen natürlichen Lebensbedingungen, um ihre Lebensweise bei plötzlicher elektrischer Beleuchtung zu untersuchen, dann gewinnt man freilich andere Erfahrungen, als wenn man nur die in einem Schauaquarium ausgestellten Tiere betrachtet. Dann wird uns besonders deutlich, welche wichtige Rolle vor allem das Licht spielt; wie fast alle Meerestiere auf eine ganz bestimmte Lichtmenge eingestellt sind, wie Tagestiere und Schattentiere sich allmählich ablösen und wie viele bodenbewohnende Tiere sich nur deshalb so rasch eingraben, weil sie stenophotisch sind, und bei stärkerer Belichtung schmerzhaft gereizt werden.

So ist die Wassertiefe der oberen 100 m Schichten zwar der Ausdruck verschiedener Lebensbedingungen, aber es handelt sich dabei zunächst um die Lichtdurchlässigkeit des Wassers, die sich bei dem Vorhandensein von trübenden Schlammteilchen ebenso ändert, wie durch die Steilheit oder Schiefe, mit der die Sonnenstrahlen das Wasser durchleuchten.

Die dann folgende Tiefsee zeigt überall dieselbe Lichtlosigkeit und damit in dieser Hinsicht fast unveränderliche Umstände. Man kann daher die obere, mehr oder weniger durchlichtete diaphane Region mit ihrem reichen Pflanzenleben, ihren autotrophen Korallen, ihren Pflanzenfressern und den darin lebenden fleischfressenden Raubtieren von der aphotischen Tiefenzone ohne Pflanzen und Pflanzenfresser, mit aas- oder schlammfressenden „Weichtieren“ und den von ihnen lebenden Raubtieren trennen — aber ob sie in 200, 800, 1600 oder 4000 m Tiefe gelebt haben, läßt sich im einzelnen Fall nicht bestimmen.

Ganz ähnliche Erscheinungen bietet uns, wie wir schon früher schilderten, die Verteilung der Meerestemperatur. Denn auch die auf die Wasserfläche fallenden Wärmestrahlen der Sonne vermögen nur die obersten Wasserschichten zu erwärmen. Hier machen sich auch die Breitengrade geltend und eine akrothermische Karte (Abb. 1), welche die Wärmeverteilung der Meeresoberfläche darstellt, zeigt, ähnlich wie die festländischen Flächen, kalte, gemäßigte und warme Zonen. Wegen der Kugelgestalt umfaßt die warme Zone etwa $^4/_8$ der Gesamtfläche, und von der anderen Hälfte kommt nur $^1/_8$ auf das kalte Polargebiet.

Dafür gewinnt das kalte Wasser eine um so größere Bedeutung, weil es wegen seiner größeren Dichte in die tieferen Wasserzonen hinabsinkt und Sauerstoff wie Nahrung dahin trägt. Da der Gefrierpunkt des Seewassers bei —2,8° liegt, wird das Wasser der Tiefsee bis zu dieser Temperatur abgekühlt. Die tieferen Temperaturen des Polarwinters werden zwar beim Frieren der Küsteneisdecke verbraucht, aber

diese Decke schützt auch wieder das darunter lagernde Wasser vor dem weiteren Eindringen der Kälte.

Die Temperatur nimmt selbst in der Tropenzone in den oberen Wasserschichten rasch ab, und von 500 m ab, wo meist eine Wärme von 5° C herrscht, bis zu beliebiger Tiefe ändert sich dieselbe so gleichmäßig und so langsam, daß man die ganze unterhalb jener Zone liegende Tiefenregion als eine thermische Einheit betrachten darf.

Da die überwiegende Mehrzahl der Wassertiere stenotherm ist, und durch jede raschere Änderung der Temperatur geschädigt wird, gliedert sich die Flachsee in eine Anzahl von Wärmezonen, die oben am engsten sind, dann aber nach der Tiefe an Breite zunehmen. Jedes dieser Bänder, die je nach der Böschung des Untergrundes (welche an der Neigung der Schichtungsflächen erkannt werden kann) schmale oder breite Flächen des Meeresbodens bedecken, wird durch eine etwas anders zusammengesetzte Fauna belebt.

Diese tiergeographisch so wichtigen Isothermenbänder verlaufen aber nicht senkrecht zur Erdachse, sondern ziehen parallel der Küstenlinie, und verlagern sich mit jeder Oszillation des Wasserspiegels, jeder Bewegung der Lithosphäre, jeder Veränderung der neugebildeten Ablagerungen. Ein Archipel, oder eine Gruppe flacher Untiefen wird ein regelloses Muster von Fauneninseln auf die Schichtoberfläche projizieren, und jede Meeresströmung wird das Bild ihres Grenzverlaufes ändern.

Es muß vor allem betont werden, daß die absolute Höhe der Wassertemperatur von geringem bionomischen Einfluß auf den Reichtum der Wasserwelt ist. Die kalten Gewässer der Polarmeere sind ebenso reich an Pflanzen und Tiere wie die Tropenmeere, und gerade die „gemäßigte“ Zone mit ihrem so scharf ausgeprägten Wechsel der Jahreszeiten ist für die Meerestiere besonders ungünstig.

Daher nimmt im allgemeinen der Tierreichtum gegen die Tropen, wie gegen die Pole zu. Hier wirkt allerdings die mechanische Wirkung des Packeisgürtels und die bei dessen Schmelzen entstehende Oberschicht von Süßwasser lebensfeindlich und verhindert besonders die Ansiedlung der lichthungerigen Bodentiere (Korallen, Seelilien, Schwämme). In den Tropen kann die starke Besonnung am Tage die Wärme und den Salzgehalt der obersten Wasserschichten so verändern, daß manche stenohaline und stenotherme Tiere die Oberschichten meiden; allein das üppige Korallenriffleben an der Küste des stark gesalzenen Roten Meeres zeigt deutlich, daß diese Umstände ihnen nicht allzu schädlich sind.

Wenn wir zuletzt die Bewegung des Meerwassers ins Auge fassen, die besonders entscheidend ist für ihre Anheftungsweise und die elastischen oder verkalkten Hartgebilde, so sehen wir auch hier den Gegensatz zweier Tiefengebiete. Wellengang, Gezeiten und Strömungen

beherrschen nur die Oberzone. Eine 7 m hohe Woge klingt schon in 100 m Tiefe mit einer ganz geringen Kreisbewegung des Wassers aus, und selbst die gewaltige Brandung wirkt nur im Küstengebiet verheerend. Selbst der mit der Geschwindigkeit eines Flusses an der amerikanischen Küste entlang eilende Golfstrom vermindert seine Bewegung mit zunehmender Tiefe und ist schon in 500 m zu einer langsam ziehenden Strömung geworden. Wohl kann die Temperaturzone eines tieferen Wasserbeckens durch solche Strömungen beeinflußt, verlagert und verzerrt werden, aber sie gleichen mehr aus, als daß sie Grenzen schaffen. So kommen wir zu einer klimatisch-bionomischen Dreiteilung des Meeres:

1. Das Seichtwasser säumt die Küste und umfaßt die durch heftigen Wellenschlag bewegte, durch Ebbe und Flut beeinflußte, durch die Jahrestemperatur der solaren Klimazonen periodisch veränderte Fläche des Litoralgebiets. An regenreichen, von Flüssen zerschnittenen Küsten wird der Salzgehalt leicht verdünnt und eine Brackwasserzone schaltet sich zwischen Festland und Meer; an ariden Ländern grenzen beide scharf und unvermittelt aneinander. Dichte Pflanzenbestände (Mangrove, Seegras, Tange) bilden oft eine elastische Mauer, in deren Schutz eine eigenartige individuenreiche Fauna gedeiht und schlammige fossilreiche Ablagerungen entstehen. Bei steiler Böschung ist die Seichtwasserzone ein schmales Band, deren Tierreste leicht in die abfallende Tiefe hinabgleiten.

2. In wechselnder Breite folgt dann rasch die Flachsee, eine oft viele Meilen breite, je nach dem Klima 200—500 m tief reichende Zone. Sie ist von Pflanzen des Planktons und der Bodenwelt besiedelt und bietet daher der Fauna reiche Nahrungsquellen. Die wechselnde Fazies bedingt zahlreiche Rassen, Arten und Gattungen. Alle Pflanzenfresser und zahlreiche Raubtiere finden hier günstige Lebensbedingungen. Festsitzende oder bewegliche Tiere, die sich oft autotroph durch Assimilation ernähren, sind mit kräftigen Kalkskeletten versehen und bilden daher mächtige ozeanische Kalkmassen. Die Flachsee ist vom paläontologischen wie lithologischen Gesichtspunkt besonders wichtig.

3. Mit allmählichen Übergängen entwickeln sich mit zunehmender Wassertiefe die Verhältnisse der lichtlosen, ruhigen, gleichmäßigen Tiefsee, deren Boden zwar für Schlammfresser und Raubtiere günstige Lebensbedingungen bietet, aber die im allgemeinen nur von „Weichtieren" belebt wird. Ihr rasch zerfallender Körper, ihre locker verbundenen Skelettnadeln, die große Zahl der räuberischen Genossen macht sie für eine geologische Erhaltung ihres Körpers ungeeignet. Selbst die zarten Hartgebilde des darüber schwebenden Planktons und Nektons werden leicht zerstört, während sie in die lichtlose Tiefe hinabsinken. Von einem riesigen Wal bleibt nur das Felsenbein übrig, selbst viele Kalkschalen werden aufgelöst und nur die widerstandsfähigen Horngerüste der Pteropoden und Graptolithen oder die Kieselhüllen der Diatomeen und

Radiolarien können je nach der Mischung mit staubfeinem Pulver mehr oder weniger reine organische Sedimente bilden.

Während die Tiefsee mit dem über ihr ruhenden gewaltigen Wasserkörper der Hochsee eine kaum veränderliche Region darstellt, innerhalb deren nur durch submarine Vulkane eine topographische und bionomische Gliederung entstehen kann, sind Flachsee und Litoral der Schauplatz beständiger Veränderungen und ihre Lebewelt trägt die Wirkungen derselben in jeder Schichtenfolge zur Schau.

In der Regel wird bei einer paläographischen Betrachtung der Schichtenfolge nur der Abstand einer Fazies von der ehemaligen Uferlinie berücksichtigt, und man bedenkt nicht, daß die dort herrschenden litoralen Bedingungen des Strandes in genau derselben Weise über jeder Untiefe auftreten und deren Schicksale bestimmen, selbst wenn sie 1000 km vom Strand entfernt ist.

Jede durch einen Sandsturm aufgeschüttete Sandbank, jeder submarine vulkanische Aschenkegel, jede flache Wölbung der Erdrinde, jede aufbrechende Störungszone kann küstenferne Untiefen schaffen. Bei jeder Transgression bilden sie die Gestalt des Bodens und jede Regression bringt sie aus der größeren Wassertiefe in die Seichtwasserzone; Riffe setzen sich auf ihnen fest, die mit dem Ufer des Meeres keinen Zusammenhang haben, „Temperaturinseln" bedingen eine andere Fauna, und „Lichtinseln" lassen pflanzenreiche Oasen zwischen den nur von Tieren belebten Wüsten des umgebenden Schlammgebietes entstehen.

Um die Vorgänge, welche die Wassertiefe und damit auch die auf der betreffenden Bodenfläche lebenden Organismen verändern, richtig beurteilen zu können, wollen wir zunächst die Schicksale eines 1000 m tiefen wassererfüllten Beckens betrachten, das von Festländern umgeben und von ihnen aus zugefüllt wird, ohne daß sich der Stand des Wasserspiegels oder die Lage des Untergrundes zum Erdmittelpunkt ändert:

Da auf dem Festland überall Verwitterungsvorgänge auftreten und geologische Kräfte bereit sind, die gelockerten Massen horizontal zu bewegen und nach dem zentralen Wasserbecken zu tragen, so muß sich dasselbe allmählich zufüllen und an seinem Boden schichten sich mit abnehmender Tiefe zunächst die Ablagerungen der Tiefsee, bestehend aus feinem Schlamm (äolisch, vulkanisch, oder aus Planktonresten gebildet) arm oder reich an Kalk, ohne deutliche Schichtung, mit zersetzten Organismen (Humus, Bitumen, Schwefelkies). In allmählichem Übergang oder wechsellagernd treten dann die Ablagerungen der Flachsee auf. Die organischen Zerfallstoffe treten zurück, kalkschalige Fossilien mehren sich, die Schichtung wird immer deutlicher, ausgewaschene Lesedecken trennen die Bänke und während die kalkreichen Formen zunehmen, mehren sich die Spuren räuberischer Tiere, welche Kalkschalen

zerbeißen und Kalksande liefern. Indem die Wassertiefe weiter schwindet, kommen Untiefen hervor, in denen die Wellenbewegung alle Reste nach Schwere und Gestalt sondert. Endlich heben sich Sanddünen, deren Material aus Flugsand oder Kalktrümmern besteht, mit diagonal geschichteten Aufbau über den Wasserspiegel; vereinzelte Baumstämme oder Blätter werden ins Meer geführt oder in einem ariden Klimagebiet endet die Schichtenfolge mit verdampften Gips- oder Salzschichten.

Dieses einfache Schema wird dem entsprechen, was man als „Zyklus der Sedimentation“ bezeichnet und oft für die genetische Analyse größerer Schichtenfolgen verwendet hat.

Aber wer nicht überall das Schema zu finden sucht, sondern die einzelnen Schichtenfolgen benachbarter und entfernter Profile sorgfältig untersucht und unter Berücksichtigung aller lithologischen und paläontologischen Tatsachen, wie sie nur durch die genaueste Beobachtung in der Natur festgestellt werden können, vergleicht, der erkennt bald, daß jenes periodisch ablaufende Schema überall versagt.

Das ergibt sich vor allem, wenn man die Gesteine nach ihrem Gewebe, Gefüge und ihrer Mächtigkeit genau untersucht und die Fossilien als Einschlüsse derselben, den Fundort als deren Standort oder Grab, das Muttergestein als Wirkung der geologischen Umwelt betrachtet.

Wer viele Profile so zu analysieren versucht, der erkennt bald, daß nicht nur die allmähliche Zufüllung eines stabilen Beckens für die Schichtenfolge und Fossilfolge bestimmend ist, sondern in der Regel andere Vorgänge in den scheinbar so einfachen Zyklus eingreifen:

Die wichtigste begleitende Ursache ist die säkulare Senkung des Untergrundes der kleinen und großen Becken, in denen Gesteinsmaterial gesammelt wurde und die wir daher als Sammelmulden bezeichnen. Mag ein lokales Salzlager aus dem Zusammenströmen schwacher Salzlösungen entstehen, zahlreiche Steinkohlenflöze zwischen litorale Sand- und Schiefertone eingeschaltet, wandernde Sanddünen in einem Wüstenland aufgespeichert, Korallenkalke in einem Tropenmeer gebildet oder polare Blocklehme zwischen Strandablagerungen eingelagert werden, immer sehen wir den Senkungsvorgang als begleitende und die Mächtigkeit bestimmende Ursache. Die selbst den sorgfältig beobachtenden Geologen immer wieder überraschende Mächtigkeit der in vielen Sammelmulden abgelagerten Gesteine, die häufige Wiederkehr litoraler Bildungen auf dem Gipfel eingeschalteter Untiefen, die Ingressionen des Meeres zwischen festländischen Gesteinen, wie sie uns die paralischen Steinkohlenprofile, die Schichtenfolge des Zechsteins, die fossilreichen Zwischenschichten in der germanischen Trias und selbst viele alpine Schichtenfolgen zeigen, sind nur verständlich, wenn wir dieselben als Wirkungen des stets veränderlichen Wechselspiels von Zufüllung und Senkung betrachten.

Daneben muß als begleitende Ursache mancher vorübergehenden Verlandung die Neubildung von Untiefen oder deren Versenkung in die ruhigen Tiefenregionen: das Oszillieren der Strandlinie angesehen werden, wie es besonders durch E. Suess hervorgehoben worden ist. Positive und negative kleinere Strandverschiebungen, also die innere Unbeständigkeit der Strandlinie, muß bei allen Sammelmulden, deren Oberfläche an den Küsten durch Gezeiten, Wellenstau und andere Ursachen immer wieder verändert wird, über weite Flächen dieselben Erscheinungen verbreiten, die man in der Regel nur in der schmalen Linie des Küstensaumes zu sehen gewohnt ist.

Die regionale Verbreitung küstenferner Untiefen muß auch bei allen Transgressionen und Regressionen eine so maßgebende Rolle spielen, daß wir bei der späteren Betrachtung dieser großzügigen Vorgänge noch viele solcher Wirkungen zu schildern haben werden.

Nur die durch besonders lebhafte und andauernde Senkung entstehende Übertiefung eines Wasserbeckens bedingt Tiefenwasser. Die heutigen Tiefseebecken sind solche nicht mit Sediment, sondern mit Wasser ausgefüllte übertiefte Becken und ihr Boden kann zwar an lokalen Hebungszonen, nicht aber durch regionale Hebung wieder in die Flachseeregion hinauf bewegt werden.

Das Fehlen einheitlich streichender paralleler Faltenrücken am Boden der heutigen Tiefsee beweist, daß ihr Grund nicht wieder gehoben wird, vielleicht auch niemals wieder gehoben werden kann, weil sie in das Spannungsgewölbe der Erdrinde so eingefügt und eingebogen sind, daß jede mechanische Möglichkeit fehlt, sie erneut zu biegen und zusammenzuschieben. Man könnte sogar durch den Vergleich der Mächtigkeit früher gefalteter Sammelmulden zeigen, daß eine Faltungsmöglichkeit zwar bis zum Karbon bestand, aber dann im Laufe der Mittelzeit wesentlich vermindert wurde.

Jedenfalls ergibt sich nach den bisher erörterten Gesichtspunkten, daß man nicht eine beliebige Gesteinsschicht aus einer größeren Schichtenfolge herauslösen darf, um durch den Vergleich mit rezenten Erscheinungen (wie rote Farbe, dünnblätterige Schichtung, Häufigkeit von planktonischen Foraminiferen oder Radiolarien) ihre „Tiefseenatur" zu beweisen. Vielmehr muß man hierbei stets die ganze liegende und hangende Gesteinsfolge mit berücksichtigen und für jene den allmählichen Übergang von Flachsee zur Tiefsee, für das Hangende aber die langsame Verwandlung abyssaler in litorale Bildungen nachweisen können.

Finden wir statt dessen mächtige Schichtenfolgen, welche von litoralen Erscheinungen scharf begrenzt werden, oder innerhalb deren sich immer wieder die Zeichen flachen Wassers einstellen, dann ist neben der Zufüllung die Senkung der Sammelmulde wirksam gewesen und

nur das Wechselspiel beider sich entgegenarbeitender Vorgänge kann die genetische Analyse einer solchen Schichtenfolge ermöglichen.

Die Aufgabe, den Fossilgehalt eines gegebenen Gesteins mit Rücksicht auf die Wassertiefe zu bestimmen, in der jene Organismen gelebt haben, wird meist so gelöst, daß man auf biologischem Wege die Lebensweise ihrer rezenten Verwandten prüft. Solange uns hierfür dieselben Arten als Vergleichsobjekte zur Verfügung stehen, und wir deren tiergeographische Verbreitung genau kennen, ist gegen diese Methode nichts einzuwenden. Die Zahlenangaben meines Buches über „die Lebensweise der Meerestiere“ werden bei tertiären Ablagerungen nützlich sein, und die Untersuchungen Sempers über das Eozän oder Schaffers über die Fauna des Wiener Beckens mögen als ausgezeichnete Beispiele solcher Untersuchungen genannt sein.

Wenn wir die geringste Wassertiefe, in der eine rezente Art beobachtet wurde, als wahrscheinliche Tiefe ihres Lebensraumes betrachten, und eine ganze Fauna auf diesem Wege durchprüfen, werden wir zu ziemlich sicheren Schlüssen gelangen.

Aber wenn wir eine fossile Fauna vor uns haben, die aus völlig ausgestorbenen Gattungen oder Ordnungen besteht, muß diese Methode versagen. Wir wissen nicht, welche Lebensweise die Ammoniten, Goniatiten oder Clymenien hatten, und die Morphologie ihrer Schale kann diesen Mangel nicht ersetzen, denn alle Analogieschlüsse müsssen hier versagen.

Die geologische Literatur ist voll von Irrtümern, die auf solchen Zirkelschlüssen beruhen, daß man aus der Systematik einer völlig ausgestorbenen Tiergruppe ihre Lebensweise erschließen, danach die Bildungsumstände des umhüllenden Gesteins beurteilen und dann wieder daraus jene Lebensweise zu erklären versucht hat. Aus diesem unbefriedigenden Kreislauf kann uns nur ein Weg herausführen: die Lebensweise der fossilen Fauna und Flora aus den lithogenetischen Umständen zu erschließen, unter denen das sie umhüllende Gestein entstanden ist.

Wenn wir auf diesem Wege ein geschichtetes, aufgelagertes Gestein untersuchen, so müssen wir uns zunächst darüber klar sein, daß Schichtung zwar vorwiegend unter Wasserbedeckung entsteht, daß aber die Höhe und die Dauer der bei der Bildung darüberstehenden Wasserschicht für die Entstehung der Schichtung keine entscheidende Bedeutung hat. Geschichtete rote Letten entstehen im Innern von Westaustralien 800 km von der Küste und 600 km über dem Meeresspiegel, und geschichtete Konglomerate erfüllen die Wannen der texanischen und turkmenischen Halbwüsten noch ferner vom Ozean und in bedeutend größerer topographischer Höhe.

Es ist auch fast unmöglich, an einem kleinen Aufschluß oder gar dem Handstück zu beurteilen, unter welchen paläographischen Umständen

ein Gestein entstanden ist — nur im natürlichen Verband der liegenden und hangenden Schichtenfolge können wir solche Untersuchungen anstellen.

Als Ausgangspunkt werden wir die nächste liegende Diskordanz wählen müssen, um uns darüber klar zu werden, welche Vorgeschichte ein bestimmtes Gestein hatte.

Aber ebenso bezeichnend wie eine Diskordanz mariner Gesteine über einem älteren festländischen Gelände ist jede Zwischenschicht, deren Oberfläche die Spuren einer schwindenden Wasserbedeckung erkennen läßt. Trockenrisse (Netzleisten, Tongallen, Fährten) und besonders chemisch ausgeschiedene Niederschläge (Kalksinter, Kieselsinter, Dolomit, Gips, Salz) werden wertvolle Dienste leisten.

Auch die Bewegungsspuren des Wassers an der Oberkante von Gesteinsplatten können uns helfen, denn wir wissen, daß mit zunehmender Tiefe solche nicht mehr dem Sediment aufgeprägt werden. Rieselspuren, Wellenfurchen oder Rippelmarken und besonders Lesedecken groben Materials (Häufung von Fossilien, härtere Schwülen oder Konkretionen, gröberer Sand, Grundkonglomerate) sind Anzeichen flachen und schwindenden Wassers. Man darf dabei nicht etwa nur an den Saum des Strandes denken, sondern muß erwägen, daß auf dem Scheitel jeder küstenfreien Untiefe dieselben Vorgänge auftreten.

Solche Erscheinungen wird man besonders da erwarten können, wo das Klima bald durch lange Trockenzeiten, bald durch kurze Ruckregen gekennzeichnet ist, also in den Urwüsten der Altzeit und innerhalb der Wüstengürtel der postkarbonischen Perioden. Wenn ein weites durch Deflation eingeebnetes Wüstenland von einer regenreichen Klimaepisode betroffen wird, müssen solche „Strandbildungen“ in riesiger Ausdehnung auftreten. Zunächst bei der Entstehung großer Wasserbecken, dann aber auch bei deren Einengung und Austrocknung. Besonders wichtig wird hierbei das Wandern der Seen eines Wüstenlandes, das durch die Geschichte des Lopnor historisch beglaubigt, durch viele andere große namenlose Wüstenseen bestätigt wird.

Daß die in der Nähe des Meeres befindlichen Wüstenebenen leicht von jenen überflutet werden können, ist nicht nur ontologisch wahrscheinlich, sondern wird durch fossilführende Horizonte innerhalb unserer permischen und triadischen Schichtenfolge vielfach belegt.

So bildet also der Meeresspiegel keineswegs eine obere Grenze des Bildungraums geschichteter Gesteine, sondern nur eine Grenze für die Unterscheidung von submarinen und supramarinen, d. s. festländischen Ablagerungen, und die darin gefundenen Fossilien müssen nach lithologischen Gesichtspunkten geordnet werden: in die Bewohner des heimatlichen Ozeans und die von ihnen in die Flüsse

und Seen der Kontinente immer wieder eingewanderten limnischen oder salinischen Abkömmlinge. Die hierbei erworbenen neuen Eigenschaften werden erst dann als solche richtig beurteilt werden können, wenn jene erdgeschichtliche Vorfrage entschieden ist.

Die Vorgänge an der Elementengrenze des Küstensaums, wo die Gezeiten und der Windstau eine breite „Strandfläche" beherrschen, sind neuerdings durch J. Weigelt genauer untersucht worden.

Lange Zeit hindurch hat man die weiße Schreibkreide als eine Tiefseeablagerung betrachtet und noch heute ist diese Vorstellung in weiten Kreisen fast unausrottbar verbreitet. Ein Bild von Foraminiferen, die aus senoner Kreide ausgeschlämmt wurden, wird immer wieder abgedruckt — um zu beweisen, daß man dieses Sediment mit dem rezenten Globigerinenschlamm parallelisieren müsse, obwohl jeder zoologisch Geschulte sofort erkennt, daß die Mehrzahl der abgebildeten Foraminiferen nicht planktonische, sondern benthonische Bodenformen sind.

In seiner umfassenden und vielseitigen Arbeit über diese Frage hat aber L. Cayeux schon 1897 nachgewiesen, daß kein einziges Fossil der französischen oberen Kreide unterhalb einer Tiefe von etwa 200 m gelebt haben kann. Wer in unserer norddeutschen Kreide die dickschalige Gryphaea vesicularis gesammelt hat, kann nie auf die Vermutung kommen, daß das umhüllende Gestein in größerer Tiefe gebildet worden sei.

Noch viel überzeugender wirkt die Betrachtung der oberkretazischen Schichtenfolge. Denn wenn wir im Neokom den Beginn einer transgredierenden Vertiefung des vorher festländischen Gebietes beobachten, wenn so viele senone Sandsteinmassen auf die Nähe großer Festländer hinweisen, wenn endlich die Bryozoenkalke der obersten Kreide im südlichen Dänemark und die „Litoralkalke" von Seeland den Abschluß einer marinen Schichtenreihe darstellen, dann ist es doch ungereimt anzunehmen, daß zwischen zwei Litoralfazies eine „Tiefsee" eingeschaltet werden müsse.

Die Gesteine der Flachsee zeigen mit nach der Tiefe abnehmender Stärke zunächst noch Lesedecken von geringerer Korngröße, und ihre klastischen Elemente werden durch eingelagerte organische Kalkreste oftmals so weit verdrängt, daß reine Kalkschichten oder massige Riffkalke entstehen. Auch hier muß man sich hüten, jede kleine oder große Kalklinse als Saumriffe zu betrachten und sie als Anzeichen ehemaliger Küstennähe anzusehen, denn mitten in der weiten Wasserfläche bietet jede Untiefe dieselben Bedingungen. Die Untersuchungen von v. Freyberg über die Anordnung der deutschen Zechsteinriffe sind hierfür sehr lehrreich.

Wo man die Grenze zwischen Flachsee und Tiefsee ziehen soll, ist ein überaus schwieriges Problem. Aus allgemeinen Gründen kann man den Gegensatz beider Regionen etwa in 300 m Tiefe legen. Die polaren Meere werden den Gegensatz kaum erkennen lassen, weil hier

das Hinabsinken des kalten Oberflächenwassers auch alle beweglichen Tiere mit verlagert. Dagegen werden die wärmeren Meere schärfere Grenzen zu ziehen erlauben, und hier wird es wesentlich sein, inwieweit ein solches Meeresbecken polwärts geöffnet war. Auch der höhere Stand der Sonne und die dadurch bedingte größere Durchlichtung und Durchwärmung der Flachseegewässer wird Gegensätze bedingen, deren paläontologische Verwertung nicht ganz leicht ist.

Die Fauna der eigentlichen Tiefsee ist deshalb von untergeordneter geologischer Bedeutung, weil sie meist skelettlos ist oder so zarte Hüllen besitzt, daß diese lange schweben und erst da zu Boden sinken, wo die langsame Bewegung des Wassers erlahmt. So können sich sogar im Hafen von Messina Tiefseeradiolarien und Tiefseefische sammeln — also an einem Ort fossil werden, der ihren Lebensbedingungen völlig fremd ist.

Als Beispiel für ein flaches Meeresbecken in aridem Klima und die daraus sich ergebenden Bedingungen für die Einbettung der Fauna und den Aufbau der Sedimente wählen wir den unteren Muschelkalk:

Mitteleuropa war im mittleren Buntsandstein abflußloses Wüstengebiet. Im Röt macht das Meer vorübergehende Vorstöße, die kleine Fossilbänke hervorrufen und mit einer Eindampfung und Bildung von Gipslagern enden. Erst mit Beginn der Myophorienschichten wird die Sammelmulde für längere Zeit vom Wasser bedeckt. Die dann entstehenden, miteinander wechsellagernden Sedimente sind völlig verschiedener Entstehung. Wir unterscheiden den eigentlichen Wellenkalk, der bei der völligen Gleichheit seines Korns und bei dem völligen Mangel einer bodenständigen Fauna sich als chemisches Sediment erweist, von den Fossilbänken, deren Vorhandensein ein nicht übermäßig gesalzenes Wasser verlangt, und drittens den diagonalgeschichteten Schaumkalkbänken, die nach Gefüge und Fossilgehalt als Sanddünen betrachtet werden müssen, welche die Wasserfläche überragten.

Die Bildungsbedingungen dieser Fazies haben, wie dies die Untersuchungen von B. von Freyberg ergaben, rasch und oft gewechselt. Das ist nur möglich in einem flachen Meeresbecken, in dem dicht nebeneinander die verschiedensten Umstände vorhanden waren. Geringe Bodenbewegungen erzeugten flach aus dem Wasser sich heraushebende Untiefen, die sofort von den Wellen zerstört wurden. Daher finden wir auf größere oder geringere Flächen anshaltende Konglomeratbänke, die aus zerstörtem Wellenkalk bestehen. Zwischen den Erhebungen konnten hier chemische Sedimente entstehen, dort konnte eine Fauna gedeihen, und bei der weiteren ungleichmäßigen Senkung und ungleichmäßigen Ausfüllung der Sammelmulde konnten die Verhältnisse von Ort zu Ort wechseln, so daß auch ein ebenso leicht wechselndes Profil der Schichtenfolge entstehen mußte.

Das einzig Gemeinsame in allen Profilen des germanischen Muschelkalkes sind die auf Schritt und Tritt wiederkehrenden Merkmale für flaches Wasser. Auf den bei Ebbe periodisch trockenliegenden Flächen entstanden Trockenrisse, der zähe von Würmern durchbohrte Schlamm blätterte bei jeder Bestrahlung durch die Sonne ab, die Stücke wurden von der Flut gerollt, um bei der nächsten Ebbe wieder zu zerspringen. Die getrennten Schalen der Muscheln wurden sämtlich mit der Außenseite nach oben als Schalenpflaster abgelagert. Die einseitig erodierten und einseitig ausgefüllten Rinnen der Priele sind im Profil deutlich zu erkennen. Im flachen Wasser entstanden diagonalgeschichtete Oolithbänke. Die Fauna besitzt alle Merkmale einer Seichtwasserfauna. Die Muscheln sind meist dickschalig mit kräftigem Schloß, festgewachsen oder angeheftet und unter den Gastropoden treten kleine, kugelige oder niedergedrückte Formen mit großem Fuß hervor.

Die Quellen für neuentstehende Ablagerungen am Boden der Tiefsee sind so spärlich, daß solche nur in äußerster Langsamkeit gebildet werden. Wenn G. Braun nachweisen konnte, daß seit dem Ende der Diluvialzeit im Südatlantik und Indik etwa 10 – 20 cm Sediment gebildet worden ist, und Andrée auf Grund der Untersuchungen von Lohmann sogar annimmt, daß ein Coccolithenschlamm von 1 cm Mächtigkeit nur in 1000 Jahren gebildet werden kann, dann wird man wohl verstehen, daß alle unsere mächtigen Schichtenfolgen in flachem Wasser entstanden sein müssen.

Gehen wir also bei der Beurteilung einer solchen von dem durch eine Diskordanz oder ähnliche Grenzerscheinungen gekennzeichneten Nullpunkt aus, so müssen wir uns darüber klar sein, daß jede darauf aufgebaute Schichtenfolge bis zu einem etwa im Hangenden folgenden Nullpunkt zunächst allmählich zunehmende, dann aber wieder ebenso abnehmende Tiefen enthalten muß. Es ist unmöglich, eine einzige Schicht herauszugreifen und als Tiefseeablagerung zu erklären, wenn man nicht die liegenden und hangenden bathymetrischen Übergänge nachweisen und verfolgen kann.

So drängt uns jede solche Erwägung zu der Forderung, daß man die Lebensweise einer fossilen, völlig ausgestorbenen Formengruppe nur nach den lithologischen Umständen beurteilen darf, die uns das geschlossene Profil einer größeren Schichtenfolge überschauen läßt, innerhalb deren jene Fossilien gefunden werden.

Literatur

Andrée, K., Die paläogeographische Bedeutung sediment-petrographischer Studien. Petermanns Mitt. 1913, 59. Jahrg., Novemb.-Heft, S. 117. — Andrée, K., Geologie des Meeresbodens, Leipzig 1920. — Baur, G., On the Origin of the Galapagos Islands with Remarks on the Geological age of the Pacific Ocean. The American Naturalist, August

1897, S. 661. — Cayeux, L., Contrib. à l'etude micrographique du terrain sédimentaire. II. Craie du Bassin de Paris, Lille 1897, S 517. — Chun, Carl, Die pelagische Tierwelt in großen Tiefen. Verhandl. d. Ges. D. Naturf. u. Ärzte, Bremen 1890. — Clark, A. H., Une etude philosophique de la relation entre les crinoides actuels et la température de leur habitat. Bull. L'Institut Océanogaphique, Monaco 1914, Nr. 294. — Dall, William, Deep Sea Molluscs and the Conditions under which they live. Presidential Address, Biological Society, Washington 1890, Proceeding Bd. V, S. 1—27. — v. Drygalski, E, Deutsche Südpolar-Expedition 1901—1903. Bd. II, S. 49. — Fischer, E., In welchen Meerestiefen haben sich unsere Juraschichten gebildet? Jahresh d. Ver. f. Naturk., Württemberg. Jahrg. 1912. — v. Freyberg, B., Der Aufbau des unteren Wellenkalkes im Thüringer Becken. N. Jahrb. f. Min. usw., Beil.-Bd. XLV, S. 214—274. — Fuchs, Th., Welche Ablagerungen haben wir als Tiefseebildungen zu betrachten? N. Jahrb f. Min. 1883, Beil.-Bd. II, S. 487—581. — Murray, John, On te Deep and Shallow-Water marine Fauna of the Kerguelen Region of the Great Southern Ocean. Royal Soc. of Edinburgh. Vol. XXXVIII, Part II, Nr. 10, S. 343. MDCCCXCVI. — Murray, John, On the Depth and Marine Deposits of the Indian Ocean, with Descriptions of the Deposits. — Murray, John, and Philippi, E. Die Grundproben der Deutschen Tiefsee-Expedition, Bd. X der wissensch. Ergeb. der „Deutschen Tiefsee-Expedition 1898—1899" auf dem Dampfer Valdivia, Jena 1908, S. 67—206. — Murray, John, and Renard, A. F., Deep Sea Deposits. Rep. on the Scient. Res of the Voy. of H. M. S. Challenger during the Years 1873—1876, 1891. — Schaffer, F. X., Sind Ablagerungen größerer Wassertiefe in der Gliederung der tertiären Schichtenreihe zu verwenden? Mitt. d. Geol. Gesellsch. Wien 1908, Bd. I, Heft 1 u. 2. S. 85. — Semper, M., Das paläothermale Problem. Zeitschr. d. D. Geol. Gesellsch. 1896, S. 261. — Suess, E., Are Great Ocean Depths Permanent? Natural Science, Vol. 2, Nr. 13. 1893, S. 180. — Walther, J., Über Entstehung und Besiedelung der Tiefseebecken. Naturw. Wochenschrift, Jena 1904.

47. Die festländischen Faziesgebiete

Nur bei einer ganz oberflächlichen Betrachtung der lithogenetischen Vorgänge der Erdkugel kann man behaupten, daß alle festländischen Gebiete über dem Meeresspiegel durch Abtragung beherrscht und alle unter demselben liegenden Flächen von neuen Ablagerungen bedeckt würden. Denn selbst die erodierende Flußrinne wird von einer lehmbedeckten Aue begleitet, Sümpfe verwandeln sich in Torf- und Kohlenlager, am Boden von Salzseen entstehen mächtige Salzlager und die hohen Dünen der Sandwüsten bilden verhärtende Sandsteine.

Am ehesten darf man die innere Polarzone der nivalen Klimagebiete als eine reine Denudationsfläche betrachten, denn wenn sich dauernde Schneedecken in Eis verwandelt haben und dieses nur wenige Jahrtausende wie eine Pflugschar über den Untergrund gleitet, so sind durch die Exaration alle früher hier vorhandenen verwitterten Lockermassen radial ausgeräumt und nach dem Rand der Eisdecke verfrachtet, wo sie entweder in die fluvialglazialen Blockzüge, ausgewaschenen Sandfächer oder dünngeschichteten Bändertone umgewandelt wurden, oder beim regionalen Schmelzen des Eises als blockgespickter sandiger Schlammbrei zu Boden sanken.

Denken wir uns das Ende einer Eiszeit, oder die von früheren Gletschern verlassenen Täler eines Gebirges, so sehen wir unter der einstigen Schnee- und Eisdecke zunächst eine zentrale, völlig denudierte, glattgehobelte Rundhöcker- und U-Tallandschaft, daran schließt sich die mit unscharfer, durch die Dauer der Vereisung bedingte Grenze eine Außenzone, welche mit dem abgehobenen Verwitterungsschutt, der in einzelne Glazialperioden zerlegt werden kann, in mehr oder minder hohen Profilen bedeckt ist; daß diese Erscheinungen fehlen, wenn das Polargebiet vom Meere transgrediert ist, haben wir früher besprochen.

Eine kümmerliche Vegetation gedeiht im Polargebiet nur während weniger Monate, aber die vielen stagnierenden Schmelzwasser verzögern ihre Verwesung und so wird das Tundragebiet ein Gürtel intensiver Moorbildung, die auf sinkendem Untergrund große Mächtigkeit erreichen. Mögen heute Sumpfmoore, Weiden, Erlen und Fichten dichte Bestände bilden, an deren feuchtem Boden überall dunkle Moorflächen auftraten, möge am Rand der patagonischen Gletscher immergrüne Buchenwälder zu mächtigen Torflagern vermodern, oder mag in der Umgebung permischer Eisdecken Glossopteris weit verbreitet gewesen sein, immer sind es ähnliche Klimabedingungen, welche hier kohlebildend auftreten. Selbst unsere oberkarbonischen Kohlenlager scheinen in der Grenzregion der gemäßigten Zone entstanden zu sein.

Eine sehr bezeichnende Fazies des polaren Randgebiets, die wir in kleinerem Maße selbst an den Eisinseln der Alpen wiederfinden, ist die Bildung von Ockerschlamm. Bis weit in die Flachsee hinaus tragen die sibirischen Flüsse gelbe und braune ausgeflockte Eisenverbindungen, welche alle im Mündungsgebiete lebenden Fische töten und in den wohlgeschichteten Eisenschlamm wahrscheinlich auch zahllose andere Meerestiere einbetten.

Die Grenzregion zwischen nivalem und aridem Klimagebiet gewinnt dadurch eine übermäßig große Flächenausdehnung und größere lithogenetische Bedeutung, daß der Wechsel der Jahreszeiten in diesen mittleren Breiten besonders stark ausgeprägt ist und im Sommer ebensoweit gegen den Pol, wie im Winter gegen die Wendekreise vorschreitet. Der Winter mit seiner Schnee- und Eisdecke erstarrt zwar auch alle lithogenetischen Vorgänge, aber die darauf folgende Schmelzperiode verwandelt die gespeicherten Wassermengen in stehende und fließende Gewässer, die ebenso kräftig abtragen, wie auflagern können.

Der nun folgende aride Wüstengürtel ist zwar, wenn man ihn nur meteorologisch begrenzt, eine schmale Zone, die ungefähr polwärts an die Wendekreise sich anschließend, um die Erdkugel herumzieht und unter dem Einfluß höherer regensammelnder Gebirge vollständig verschwinden kann. So schrumpft der Wüstengürtel in Amerika zu kleineren Halbwüstengebieten zusammen und die bergigen Küstenländer Australiens

haben ebenfalls reichliche Niederschläge und eine reiche Pflanzenbedeckung. Aber im regenarmen Innern desselben Landes, und besonders auf den weiten Ebenen Afrikas und Asiens verbreitert sich der Wüstengürtel immer mehr und greift in seinen Wirkungen weit in die benachbarten humiden oder pluvialen Regengebiete hinein. Denn alle Wüstenflüsse versiegen periodisch oder dauernd, ehe sie das Meer erreicht haben. Daher müssen sich in den abflußlosen Gebieten alle Lösungen und aller Verwitterungsschutt des ganzen Nachbarlandes sammeln und zu mächtigen Ablagerungen heranwachsen. Ganz Rußland ist dem Kaspi, dem Endsee der Wolga tributär, und ebenso sammelt der Aralsee alle vom Amudarja und Syrdarja aus regenreichen Gebirgen herausgetragenen Sande, Tonmassen und Salze. Selbst der wasserreiche Nil schrumpft auf seinem Lauf von Abessynien bis zum Mittelmeer immer mehr zusammen und hat noch in der Diluvialzeit in dem großen Nilsee von Theben sein Ende gefunden.

Die große Verdunstung in der Wüste bedingt es, daß die Auswitterung alle Gesteine sehr leicht zerstört, und der überall herrschende Wind hebt alle Verwitterungsrinden sofort ab, um sie nach den Senken zu tragen, oder ganz auszuräumen. So entstehen tiefe rings geschlossene Wannen, die ihrerseits wieder zum Ablagerungsort der Verwitterungsmassen werden. Hier häufen sich Sandmeere über sinkendem Untergrund, bunte Letten schichten sich in den periodisch überschwemmten Senken, mächtige Konglomerate füllen den Boden der Trockenseen und alle löslichen Salze sammeln sich in verdunstenden Endseen, an deren Boden Kalk oder Gips, Salzton oder reines Steinsalz abgeschieden wird.

Genügsame Salzpflanzen umstehen die Seen und Wasserstellen, und können sogar kleine Moorlager bilden, während die meisten in der Wüste gebildeten Ablagerungen durch den Mangel an humosen Beimengungen und durch helle, leuchtende Farben ausgezeichnet sind.

Sehr verschiedene klimatische und geographische Umstände können die flachen Wasserscheiden, welche ein abflußloses Wüstenland umgeben, verlagern, und so kann das aride Faziesgebiet leicht in die Nachbarzone übergreifen; ja es scheint, daß die Wüste in manchen Perioden eine so maßgebende lithogenetische Rolle gespielt hat, daß unter ihren Gesetzen riesige Landflächen zu Gebieten der Gesteinsbildung wurden.

So lagern sich innerhalb dieser Zone neben dem Gehängeschutt und den aus kristallinen Gesteinen zerbröckelnden Arkosengrus die Geröllbetten austrocknender Flüsse und die mächtigen Konglomeratdecken weiter Trockenseen, die diagonalgeschichteten, von Lettenzonen unterbrochenen, oft auskeilenden fossilarmen buntgefärbten Sandsteine, die grauen, gelben oder roten Letten und die Linsen löslicher Salze, und schichten sich in bunter Reihenfolge zu mächtigen Profilen übereinander.

Leicht dringt das Meer in die küstennahe Wüste hinein, deren Boden oft als Depression unter den Meeresspiegel hinabsinkt, und so schalten sich marine oder davon abzuleitende saline Faunen mitten zwischen die fossilleeren Gesteine.

Die feinpulverigen Verwitterungsmassen, die verschiedenartigsten Gesteine werden innerhalb der regenreichen humiden oder pluvialen Zone in braune Erde verwandelt, sobald sich ihnen verwitterte Eisenmineralien beimengten. Selbst die heutige Tropenzone ist durch Gelb- und Braunerdebildung ausgezeichnet.

Aber eine Verbreiterung der Wüstenzone und ihr Eingreifen in das regenreiche Tropenklima schafft hier durch den periodischen Wechsel großer warmer Regengüsse und langer regenloser Trockenperioden jene wechselnde Herrschaft von Einwitterung und Auswitterung, welche dazu führt, daß der Eisengehalt einer mächtigen Gesteinsdecke ausgelaugt und als rote Lateritdecke über einer enteisenten und meist auch entkieselten Bleichzone ausgebreitet ist.

Heute bilden sich solche Lateritdecken nirgends, aber in der Diluvialzeit, wie in manchen anderen früheren Perioden war der Tropengürtel durch Laterisation aller eisenreichen Gesteine ausgezeichnet.

Diese roten Massen haben aber keine lange Dauer; ihr Gefüge ist zu locker, ihr Aufbau zu schwach, als daß sie sich bei Änderung des Klimas halten könnten. Zuerst verwandelt sich ihre leuchtend rote Farbe von oben her in Gelb oder Braun. Noch finden sich heute in Ostindien und Ceylon unter der braunen Oberschicht die leuchtend roten Verwitterungsmassen der Diluvialzeit. Aber Wind und Regen greifen auch das Gefüge der Lateritdecke an. Die Eisenkruste wird unterblasen und unterwaschen, bricht über die tonigen Abhänge herab und zerfällt in kleinere Stücke.

Nur wenn das folgende Klima regenarm und verdunstungsreich ist, erhält sich die rote Farbe in den aus Laterit entstehenden Sanden, Letten und Konglomeraten. So kommt es, daß derselbe Laterit, der bis Armadale an der westaustralischen Küste eine braune, oft sogar grünlich verfärbte Masse bildet, sich gegen das Innere des Landes mit zunehmender Trockenheit in gelbe, rotgelbe und endlich hochrote Sedimente verwandelt und daß alle davon abgeleitete und umgelagerte Neubildungen: der Oberboden der Steppe, die Ablagerungen der versiegenden Flüsse, die Tonebenen der Wannen und die Dünen im Gebiet der vollkristallinen Gesteine durch ihre leuchtend rote Farbe auffallen.

Überall wo die reichen Niederschläge des Tropenklimas stehende Grundwasserflächen bildet, ist die Möglichkeit gegeben, daß sich der Moder der reichen Vegetation zu Mooren und Torflagern ansammelt; auf sinkendem Untergrund kann ihre Mächtigkeit sehr wachsen.

Man sollte meinen, daß die lithogenetischen Wirkungen des fließenden Wassers in allen Klimazonen dieselben sein müßten, doch unterscheiden sich die Flußablagerungen derselben in sehr bezeichnender Weise. Die wichtigste Tätigkeit des fließenden Wassers erblicke ich darin, daß es den durch den Wind aufgehobenen, in der Atmosphäre gemischten und durch Regen oder Schnee ausgewaschenen Staub von allen Pflanzenblättern und Flächen des trockenen Landes abwäscht und so die Lufttrübe in Flußtrübe verwandelt, welche bald nach dem Regen alle kleinen und großen Rinnsale mit ihrem schlammigen Wasser erfüllt. Floßsande und Flußkiese sind nur begleitende Teilerscheinungen dieser Verfrachtung feinpulveriger Verwitterungsmassen. Sie gleiten an den Abhängen herab, geraten in tote Winkel des Flußlaufes, bilden den sein Ufergebiet bedeckenden Auelehm und schichten sich, unter dem Einfluß des Salzwassers rasch ausgeflockt, in den weitausgedehnten amphibischen Deltagebieten in horizontalen Schichten auf.

Alle durch die lokalen Verwitterungsvorgänge der Gesteine und der einzelnen Breitenzonen bedingten Lockerböden werden von einem meridional laufenden Fluß durcheinandergemischt und so wird ein polwärts strömendes System die Roterden, Gelberden und Braunerden der wärmeren Klimagürtel nach dem Polarkreis und ein nach dem Äquator fließendes Gewässer die Moorwasser des Polargebiets nach den Tropen verfrachten.

Nur wenn der größere Teil eines Flußsystems auf Breitengraden entwickelt ist, wird sein Mündungsgebiet von einheitlich entstandenen Schlammablagerungen bedeckt werden.

Die Kiese und Sande des Flusses müssen grundsätzlich von den feinschlammigen Sedimenten getrennt werden, weil sie eine ganz andere lithologische Geschichte haben.

Überall wo zerklüftete Felsen am Ufergebiet eines Flusses anstehen, schütten sich die Felsenstücke in den Wasserlauf, und werden rasch zu Geröllen geformt, weichere zwischen härteren Kieseln zerrieben, und am Boden der Flußrinne weiterbewegt. Nicht der Oberlauf des Flusses schafft also Gerölle, sondern jedes Felsenufer desselben bringt solche in die Rinne hinein.

Ein uralter Irrtum glaubt, daß durch allmähliche Abrundung und beständige Verkleinerung aus den Geröllen: grober Sand und endlich Feinsand entstehen könnte. Die geröllfreien, ungeheuer mächtigen Quarzsandsteine, die eine so große Rolle in der Schichtenfolge spielen, lassen doch leicht erkennen, daß sie nicht aus gröberen Quarzkieseln verkleinert wurden.

Die Quelle der Sande und Sandsteine sind vielmehr die Granite, Glimmerschiefer und Gneise, in deren Gewebe zwar scharfkantige, aber doch gleichkörnige Quarzkristalle verteilt sind, welche durch Verwitterung

der zersetzbaren anderen Gemengteile freigelegt, entkantet und enteckt rasch zu den rundlichen Quarzkörnern werden, die in vielen Flüssen und den großen Sandmeeren der Wüste von Wasser und Wind verfrachtet und beim Erlahmen dieser Transportkräfte abgelagert werden. So hängen sandreiche Flüsse und Dünengebiete direkt oder indirekt mit dem kristallinen Grundgebirge zusammen.

Die Korngröße und die Abrundung der Quarzkörner darf auch nicht als Kennzeichen eines kürzeren oder längeren Transportweges betrachtet werden, sondern sie wird bedingt durch die Korngröße des kristallinen Muttergesteins und die mineralogische Spaltbarkeit der darin vorhandenen Quarzindividuen.

Indem die chemische Verwitterung den kristallinen Verband lockert und die Quarzkörner aus der Umklammerung der kaolinisierten Feldspäte und der verwitterten dunklen Mineralbestandteile befreit, mischen sich natürlich die tonigen Produkte klimatisch bedingter Verwitterungsvorgänge mit dem Quarz und so wird ein lateritisch verwitterter Orthogneis rote Sandmassen, ein gelb- oder braunverwitterter Granit ebenso gefärbte Sandwolken und Sandbänke erzeugen. Während der Verfrachtung ändert sich diese Farbe je nach dem Klima des Ablagerungsgebietes und so wird ein polwärts strömender sandreicher Fluß zunächst rote Sande, dann gelbe oder braune Sandbänke ablagern. Nur wenn ein solcher in einer aride Wüste mündet, bleibt die rote Farbe erhalten, und so finden wir in der Taklamakan, der Kalahari, wie in der Nefud, in Südindien wie in manchen Teilen von Australien hochrote Wüstendünen, entstanden in einem anderen Klimagebiet, aber in ihrer Masse und Farbe erhalten in der niederschlagsarmen trockenen Wüste. Wenn daher in der erdgeschichtlichen Schichtenfolge so mächtige rote Sandsteine, besonders vom Algonkium bis zur Trias verbreitet sind, so hängt dies mit der konservierenden Kraft des Wüstenklimas auf die lateritisch verwitterten Lockermassen des benachbarten Tropenlandes zusammen.

Ebenso wie die Flüsse ganze Klimagürtel kreuzen und in ihrem Lauf deren lithologische Eigenheiten verändern oder verwischen können, so sind auch die festländischen Vulkane zwar in ihrer Anlage unabhängig von dem dort herrschenden Klima, werden aber durch dasselbe in ihrer Verwitterung und Abtragung tiefgreifend beeinflußt. Ihr lockeres Gefüge wird im Polargebiet, ohne den Schutz einer geschlossenen Pflanzendecke und unter dem Einfluß des Spaltenfrostes leicht zerlegt, und weite Wüsten kennzeichnen daher das Innere Islands. Rasch versiegt das Schmelzwasser, diagonalgeschichtete Dünen wandern über die Ebene und zerspaltene Trümmerfelder umgeben die Lavadecken. Gänge verwandeln sich in langgestreckte Klippenzüge und überall erweitert die Deflation kleine und große Spaltenzüge zu felsigen Tälern. Nur wo größere Schneefelder, zu gleitendem Eis verwandelt, die Felsenwildnis

überschreiten, mildern sich die Formen der Landschaft und gerundete Blockwälle häufen sich am Rande der Eisdecken.

Viel geringer ist die Abtragung der Vulkankegel im bewachsenen Gebiet der regenreichen Zone. Selbst im javanischen Urwald überrascht uns zu sehen, wie gering die talbildende Kraft der großen Regenmenge an den Abhängen der Riesenvulkane ist. Wie aus einem Guß entstanden, erheben sich ihre schlanken Kegel 2000—3000 m hoch und ihre von scharf geschnittenen tiefen Barrankos verzierten Anhänge werden so wenig abgetragen, daß bei Tosari die Kartoffeln auf 50° geneigtem Untergrund gezogen werden, ohne daß die Tropenregen imstande wären, die gelockerte Erde abzuspülen.

Allerdings nimmt gelegentlich die Abtragung tropischer Vulkane so verheerende Formen an, daß diese sog. Banjire zu den stärksten geologischen Kräfteäußerungen gehören. Wenn ein tiefer Krater, von hohen Steilwänden umgeben, durch die riesigen Niederschläge tropischer Regengüsse hoch angefüllt wird, dann genügt oft ein kleines vulkanisches Erdbeben, um eine Lockerzone in dem aus Tuffen und Lavagängen aufgebauten Kraterring zu erzeugen, durch welche sich dann der brodelnde Aschenbrei, gemischt mit den herabstürzenden Gangmauern und dem erweichten Material der Tuffwände, als gewaltiger Strom ergießt und diesen vulkanischen Blocklehm über die Abhänge und die Niederungen ausbreitet. Flüsse waschen in demselben später blocküberssäte breite Rinnen aus und eine Fülle seltsamer Geländeformen bilden sich aus den mächtigen Banjirdecken.

Nur mit den Denudationskräften des nivalen Klimas vergleichbar, aber meist sie übertreffend, wirken die Verwitterungsvorgänge der ariden Wüsten auf vulkanische Bergländer ein. Wer die zerfetzten Vulkanruinen von Aden und anderen Trockengebieten gesehen hat, der versteht, wie rasch hier ein hoher Vulkan eingerissen und in ein Trümmerfeld verwandelt werden kann, dessen Felsenmeere leicht von wandernden Dünen überschritten und begraben werden können.

Die Lavaströme und -decken bilden zunächst ausgedehnte Tafelländer, die engen vielgewundenen Schluchten, welche das flache Ledjah im Hauran zerschneiden, sind wahrscheinlich nur durch Auswitterung und Deflation erweiterte Abkühlungsrisse der großen dunklen Lavadecke. Gänge treten als langgestreckte hohe Mauern hervor, aber rasch arbeitet die Auswitterung arider Zersetzung und die physikalische Verwitterung an der Zertrümmerung dieser harten Gesteinsplatten. So entsteht ein ungemein regelloses Gelände, dessen Senken mit mächtigen Breschen erfüllt, dessen Niederungen mit Konglomeraten und bunten Letten ausgekleidet werden.

Die Fazies der neugebildeten Ablagerungen und ihre Grenzen werden tiefgreifend beeinflußt durch eine Verlagerung der Wasserscheiden, die

bald als unmerkliche Bodenschwellen, bald als scharfe Kettengebirge die Faziesgebiete umgrenzen.

Sie trennen die Abtragungsräume für die Verwitterungsprodukte mehr oder weniger deutlich ab, und bestimmen vor allem die Reichweite der ariden Faziesgebiete. Sie machen ganz Rußland zum Bildungsraum für die im Becken des Kaspi gesammelten Lösungen, liefern die Sandmeere, die aus den Ufern des Amudarja und Syrdarja entspringen, und füllen ihr zentrales Sammelbecken mit vielgestalteten Schichtenreihen.

Alle lithogenetischen Vorgänge des Festlandes führen zu einem Gleichgewichtszustand, den A. Penck als „das Endziel der Denudation" bezeichnet und in seinen verschiedenen Erscheinungsformen vergleichend geschildert hat.

Lithologisch müssen wir hierbei die diskordanten Abtragungsflächen, von denen das gelockerte Verwitterungsmaterial abgeräumt wird, und die konkordanten Auflagerungsflächen, auf denen es wieder zur Ruhe kommt, scharf unterscheiden. Beide sind auf dem Festland vielfach gemischt, liegen oft in unmittelbarer Nähe voneinander, und geschlossene Ablagerungsräume sind auf trockenem Land nur selten. Aber trotzdem kommt es unter dem Schutze begleitender Umstände auf beiden sogar zur Aufspeicherung größerer Lockermassen.

Die Abtragungsgebiete bedecken sich unter geschlossenen elastischen Decken der festländischen Flora mit tiefgründigen Verwitterungsdecken, vergruste Granite, vertonte Kaolinite, zersetzte eisenhaltige Gesteine wachsen unter ihnen zu großer Mächtigkeit an, bis ein Klimawechsel die schützende Flora schädigt und gewaltige Lockermassen plötzlich in Bewegung setzt. Mag es sich hierbei um eine geographische tellurische Verschiebung der Klimazonen, oder um eine Änderung der solaren Grundlage des allgemeinen Klimas handeln, stets wird eine solche Veränderung auch eine tiefgreifende Verlagerung der Lockermassen bedingen. Was W. Davis als den „Zyklus der Denudation" bezeichnet und als geschlossenen Ring geschildert hat, erscheint uns als ein fortlaufender Vorgang, der vorübergehend zur Ruhe kommen kann, aber dann mit um so größerer Wirkung neubelebt wird.

Aber auch Pflanzenmoder wird auf dem Festland gespeichert, sobald der Grundwasserspiegel die Verwesung verzögert und andauernde Senkung das Weiterwachsen der Moore begünstigt.

Endlich findet eine Speicherung beweglicher Verwitterungsprodukte in großem Maßstab innerhalb der ariden Trockengebiete statt, wenn Gegenwinde die wandernden Sandmassen zusammenhalten, oder wenn verdunstende Gewässer Schlamm und Lösungen in flachen Endseebecken sammeln.

Die festländischen Faziesgebiete, welche wir nach den Klimagürteln unterscheiden konnten, und zwischen denen die vulkanischen oder tekto-

nischen Bergländer zur Bildung von Klimainseln Gelegenheit geben, stehen in einer so vielseitigen Abhängigkeit von dem sie beherrschenden Klima und den in ihren Nachbargebieten herrschenden Bedingungen, daß uns diese wechselseitigen Beziehungen als Korrelation der Fazies überall entgegentreten.

Die geschliffenen oder gekritzten Exarationsflächen der nivalen Zone sind notwendig verbunden mit den von ihnen entfernten und als glaziale Blocklehme abgelagerten Moränen. Die Dünensande führen sich zurück auf ein zerbröckelndes Granitgebirge, ebenso wie ein einzelner Windkanter auf sandfreiem Boden die Annahme sandbeladener Stürme fordert, deren Weg einst über den Dreikanter führte. Aschenarme Kohlengesteine können nicht in einem Schaltsee gebildet werden, dessen Fluß bei Hochwasser Sand und Schlamm führt, und Küstendünen können sich nur bilden, wenn das Küstengebiet dicht bewachsen ist. Ein isoliertes Kieslager auf weiter Hochebene fordert, daß höhere Ufer seine Grenzen begleiteten, und eine schutterfüllte Wanne zwischen deren Trümmergesteinen einzelnen Zwischenschichten aufgelagerter chemischer Niederschläge auftreten, erinnert uns an die hohe Verdunstung eines ariden Landes.

Nur wer sich bemüht, diese notwendigen Zustände der Nachbargebiete zu erkennen und ihre Spuren im Schichtenverband der Profile vergleichend zu untersuchen, vermag auch die festländischen Wirkungen des Klimas der Vorzeit zu beurteilen.

Solche vergleichende, korrelative Untersuchungen sind deshalb so wichtig, weil wir nur mit Hilfe festländischer Dokumente die Lage der Klimazonen, der Trockengebiete und der Pole für einen bestimmten Zeitpunkt der Vorzeit festlegen können.

Das vom Klima so sehr beeinflußte hydrographische System, d. h. die Wirkungen, welche der Kreislauf der Vadose hinterläßt, ist verhältnismäßig am leichtesten zu erkennen.

Der nivale Kreislauf des kalten, schneereichen Polarkreises schafft, wenn derselbe auf trockenem Lande liegt, geschliffene Felsenflächen und Blocklehme in harmonischer Anordnung um den Pol.

Der aride Kreislauf füllt abgeschlossene Wannen mit mächtigen Schuttmassen, bildet ausgedehnte Sandmeere und bunte Lettenpfannen mit chemisch niedergeschlagenen Salzen, Gips-, Kalk-, Dolomit- und Kieselpfannen. Wo periodisch austrocknende Flüsse aus dem Gebirge traten, da häuft sich der grobe Schutt zu besonders mächtigen Konglomeraten.

Der pluviale Kreislauf räumt das ganze Land aus, wenn nicht geschlossener Urwald (wie solcher erst nach der Besiedelung des Festlandes, etwa seit der Permzeit möglich war) die tiefgründigen Verwitterungsdecken schützt. Des Schlammdelta der hier zusammenströmenden Riesenflüsse ist über weite Flächen wohlgeschichtet, nur selten von diagonal-

geschichteten Zwischenlagen unterbrochen und geht so allmählich in die marinen Sedimente des nahen Meeres über, daß nur das sorgfältige Studium der eingeschlossenen Wasserwelt die schwankende Grenze festzulegen erlaubt.

Literatur

Walther, J., Lithogenesis der Gegenwart. Jena 1894. — Walther, J., Das Gesetz der Wüstenbildung. Leipzig 1912.

48. Die marinen Faziesgebiete

Wenn wir nicht allein die geologische Vorzeit historisch betrachten, sondern auch die Gegenwart als das Ergebnis geschichtlicher Vorgänge auffassen, dürfen wir die am Boden des heutigen Meeres verbreiteten rezenten Ablagerungen nicht in allen früheren Perioden in derselben Weise erwarten. Nur eine schematische Anwendung der ontologischen Methode wird aus der rezenten Verbreitung von Globigerina in den Tiefen des Atlantik den Schluß herleiten, daß ein Fund derselben Gattung im Dachsteinkalk die Bildung dieser Seichtwasserbildung in der Tiefsee der Obertrias beweise, und ebenso einseitig wäre es, die roten Letten des Keupers mit dem roten Tiefseeton der Gegenwart zu parallelisieren.

Jedes Gestein muß vielmehr in seinem natürlichen Verband zwischen liegenden und hangenden Nachbargesteinen untersucht werden. Denn diese entsprechen den historischen Kausalreihen, welche aus einer früheren Vergangenheit zu einer späteren Zukunft führen.

Nachdem wir in einem früheren Abschnitt von diesen Leitgedanken aus das Meer der Gegenwart betrachtet und seine rezenten Eigenheiten als historisch geworden geschildert haben, wollen wir versuchen die Fazies des Weltmeers, die als bleibende Wirkungen des marinen Klimas in allen Perioden erwartet werden können, darzustellen.

Jedes größere Wasserbecken läßt sich in eine Anzahl Regionen zerlegen, die infolge ihrer Eigenschaften besondere Wirkungen auf die lithogenetischen Vorgänge am Meeresgrund ausüben.

An den Küstensaum schließt sich zunächst das Litoral, eine je nach der Böschung des Untergrundes schmale oder breite Fläche, auf welcher das Wellenspiel, die Gezeiten, die Küstenströmung und besonders die stürmische Brandung lebhafte Umlagerungen bedingen. Man hat lange geglaubt, daß die letztere sogar imstande sei, die Küstenlinie durch ihre eigene Kraft transgredierend zu verlagern, beständig gegen das Festland vorzuschreiten und so die Fläche des Meeres zu vergrößern. In einem laterisierten Küstenland mag diese Auffassung gelten, auch der Küstenfrost des polaren Klimas begünstigt die Schelfbildung, aber wir werden in einem späteren Abschnitt das Irrige dieser Auffassung be-

gründen, daß eine Verallgemeinerung dieser Erscheinungen nicht berechtigt ist.

I. Die periodisch oder unperiodisch wiederkehrenden Bewegungen des Meeresspiegel bedingen, daß die im Litoralgebiet gebildeten Sedimente auf einer oft breiten Fläche abgelagert werden und daß eine Zone wiederholter Wechsellagerung festländisch oder marin beeinflußter Gesteine die ehemalige Lage des Strandes kennzeichnet. Wenn auf so vielen paläographischen Karten eine einfache scharfgezogene Linie als Grenze fossiler Meeresbecken eingetragen wird, so entspricht dies nicht den tatsächlichen Verhältnissen.

In der Regel grenzten die unter dem Salzwasserspiegel gebildeten so scharf an die auf der trockenen Küste entstehenden festländischen Ablagerungen, daß sich keine vermittelnde Brackwasserzone einschaltet. Weder Sediment noch Fauna läßt vermittelnde Übergänge beobachten. Nur wo große Flüsse münden, schaltet sich eine solche Zone ein und der Individienreichtum ihrer verarmten Lebewelt läßt solche Gebiete von der formenreichen Meereswelt gut unterscheiden.

An solchen Flußmündungen beobachten wir oft eine Anhäufung von Geröllen (Grundkonglomerate). Sie sind in der Regel nichts anderes, als die ausgeblasenen oder ausgewaschenen Lesedecken der vorhergehenden Festlandsperiode, überflutet vom vordringenden Meer und dann eingehüllt oder verkittet von dessen Sedimenten.

Eine besondere Eigenart bilden die an unseren Seeküsten verbreiteten Küstengerölle (Heiligendamm, Rügen), die durch die Meereswellen aus dem blockreichen Geschiebelehm oder der feuersteinhaltigen Kreide ausgewaschen wurden — auch sie hängen mit dem Litoralgebiet eigentlich nur indirekt zusammen.

Dasselbe gilt von den Sanddünen, die unsere deutschen Küsten begleiten und die man meist als normale Kennzeichen des Meeresufer ansieht; auch sie sind nur eine örtliche Erscheinung, denn sie stammen von den skandinavischen Verwitterungsdecken, mit denen das Binneneis den Boden der Ostsee überzog. Die meisten anderen Küsten der Erde sind frei von Dünen und Dünensand.

In der Regel werden die Auswaschungsprodukte der die Küsten zusammensetzenden Gesteine und ihrer Verwitterungsdecken im Litoralgebiet weiter aufgearbeitet. Es bilden sich blockreiche Lesedecken, tief unterwaschene Hohlkehlen, deren Dach in groben Trümmern zusammenbricht, weite Sandfelder, aus denen das feinere Pulver ausgewaschen wurde, oder feinschlammige Wattenschlicke. J. Weigelt hat die hier entstehenden fossilreichen Küstensäume eingehend studiert.

Manche festländischen Pflanzengenossenschaften haben sich an die Litoralzone angepaßt und wandern als ein breiter Saum in deren Gebiet hinein. Die Seegräser und die stelzwurzelige Mangrove sind bekannte

Beispiele, wie dichte Bestände gesellig lebender Pflanzen den Wogen trotzen und als Sedimentsammler große Bedeutung gewinnen. Die Karbonflora dürfte bei einer genaueren Untersuchung ihrer Standorte ähnliche Vorgänge erläutern.

Andererseits dringen festsitzende Meerestiere bis an die Spritzgrenze des Wasserschaumes vor; Krabben und Schnecken wandern weit ins Land. Spongien, Korallen und andere Anthozoën, Würmer, Brachiopoden und Muscheln überkrusten, durchsetzen und durchspinnen die litoralen Sedimente, und bilden oft geschlossene Bestände, die rasch zu neuen Gesteinen verhärten.

Am felsigen Ufer fällt uns oft eine horizontale Kehle auf, die entweder als fortlaufende Rinne über dem mittleren Wasserstand eine markante „Strandlinie" bildet, oder isolierte Felsen zu pilzförmigen Gestalten umformt. Man hat diese merkwürdigen Ausnagungen früher auf die korrodierende Tätigkeit des bewegten Meerwassers zurückgeführt, aber auf Grund neuer Studien bin ich zu der Überzeugung gekommen, daß es sich hier, ebenso wie bei den Pilzfelsen und Steingittern, Hohlkehlen und Bröckellöchern der Wüste um eine Form der Auswitterung handelt, welche überall da auftritt, wo die Sonne den feuchten Felsen abtrocknet und die hierbei austretenden Lösungen den Gesteinsverband lockern. Daß gerade der Fuß einzelner Felsen (gute Bilder gibt Andrée) verwittert, während der Oberteil keine Verwitterungserscheinungen bietet, hängt damit zusammen, daß die verdunstende Lithose nur dort dauernd nachdringen kann.

In der Litoralzone ist auch die Heimat aller bohrenden Tiere; hier graben sich Spongien, Muscheln, Würmer und Seeigel runde Löcher, in denen sie dem Angriffe der Brandung trotzen. Ganze Felsentafeln erscheinen von solchen Tieren bienenwabenartig durchlöchert.

Der Einfluß des über dem Wasserspiegel im Litoral herrschenden Klimas bestimmt tiefgreifend die dort entstehenden Ablagerungen und die darauf lebenden Organismen. Im nivalen Klimagebiet friert das Seewasser längs der Küste und die Frühjahrsstürme zerbrechen es in gewaltige Schollen, welche als lebensfeindlicher Packeisgürtel nicht nur über, sondern auch unter dem Wasserspiegel so verheerend wirken, daß eine ruhige Entfaltung festsitzender Tiere unmöglich wird. Da außerdem der Küstenfrost und das Schmelzwasser andere schädigende Wirkungen ausübt, ist das Litoralgebiet der kalten Meere lebensarm; nur an geschützten Buchten und in tiefen Fjorden können sich die Lebewesen verbreiten.

Ganz andere Vorgänge bedingt der mit abnehmender Breite immer mehr herrschende trockene Sommer, der in der ariden Zone alle anderen Umstände zurücktreten läßt. Hier trocknet der von der Flut entblößte Sand rasch ab, Trockenrisse und Rippelmarken können entstehen, und

während aus dem sandigen Schlamm die härteren Sandkörner zu hohen Dünen emporwachsen, wäscht das Meer den Schlamm seewärts.

Innerhalb der eigentlichen Wüstenzonen tritt dann die formenreiche Meerwelt direkt an den Strand heran; Korallenriffe säumen das felsige Ufer und in flachen Buchten nimmt die Konzentration des Wassers so zu, daß um jedes vom Wind hineingewehte schwebende Staubkörnchen so lange zarte Kalkrinden abgeschieden werden, die es beschweren, bis die Kalkkörnchen zu Boden fallen. So bilden sich ausgedehnte Oolithsande, die wiederum als kleine, kreuzgeschichtete Dünen aufs Land wandern können. Im allgemeinen fossilarm, enthalten sie doch treibende kleine Schalen und vom Wind bewegbare Schalenreste.

Aber auch die am Ufer herumlagernden, von zahllosen aasfressenden Krebsen zerbrochenen und vom Wellenspiel gerundeten Schalenbruchstücke, Foraminiferen und Kalkalgenreste werden vom trockenen Seewind ergriffen und zu gewaltigen Dünen aufgehäuft. Auf einsamen Koralleninseln, wie an vielen subtropischen Küsten steigen solche Kalkdünen Hunderte von Metern hoch empor, schichten sich konkordant über den Lagunenschlamm oder lagern sich diskordant über abgetragene Felsen. Unter dem Einfluß warmer Regengüsse werden sie rasch zu fossilarmen Kalken verhärtet.

Den Aufbau und die Diagenese der Korallenriffe haben wir eingehend geschildert und können uns hier auf das S. 184 Gesagte beziehen. Dichter Kalk und Dolomit, Gipsit und sogar Alabaster, Phosphorit und andere Umwandlungen bilden sich im Litoralgebiet besonders leicht an ariden Küsten.

Ob auch Salzschichten den litoralen Sedimenten eingeschaltet werden können, die man so oft an den Ufern der Wüstenländer bei Ebbe entstehen sieht, scheint mir zweifelhaft, weil die Nähe des Meeres eine Wiederauflösung sehr begünstigt.

Dagegen scheint die Ausscheidung von Gips zur Bildung gipsreicher Letten zu führen, in denen sich später knollige weiße oder rote Gipslinsen bilden.

Die weite Verbreitung feinpulveriger Letten in ariden Gebieten, wie wir sie im vorigen Abschnitt schilderten, greift natürlich leicht auf den nahen Ozean über, und wenn weite lettenbedeckte Wüstenebenen von jenem überschritten oder nur vorübergehend überflutet werden, dann entstehen Gesteine, deren Material vom Festlande stammt, obwohl ihnen marine Lebewesen eingeschaltet sind. Denn der universelle, die Erde umkreisende atmosphärische Staubschleier, der bald dichter, bald in zarten Nebeln überall vorhanden ist, der entweder trocken herabsinkt oder durch die Niederschläge ausgewaschen wird, legt sich ebenso über das Meer (Abb. 5) wie über das Festland, und wenn hier mächtige Lößlager entstehen, so schichten sich dort hohe Meeresschichten auf.

Im Küstengebiet wird jeder über das Meer streichende Landwind einen Teil seiner feinkörnigen Fracht auf der feuchten Fläche zurücklassen. Ich habe am Roten Meer, auf einer Landspitze stehend, die feinen Sandwolken 5 km weit über das Wasser fliegen sehen, indem sie immer durchsichtiger wurden. So fallen im Litoralgebiet leicht große Mengen von feinem Verwitterungspulver nieder und können in den dort gebildeten Sedimenten so zunehmen, daß sie dessen Hauptmasse bilden.

Mögen nun aus den abgetragenen Lateritdecken Westaustraliens karminrote Letten, in den Limanen südrussischer Flüsse schwarzer schwefelwasserstoffreicher Schlamm, auf dem Takyr Turkestans graue, an den Ufern des Roten Meeres gelbe salzreiche Tone entstehen — alle diese verschieden gefärbten Sedimente eines trockenen Klimas können leicht vom nahen Meere überflutet, mit seinen absterbenden Faunen übersät und bald darauf wieder von denselben fossilleeren Letten überdeckt werden. Rechnet man aber die Wanderdünen der Küste und die Binnendünen der Wüste mit zu diesem Faziesgebiet, bedenkt man, wie die gelben Dünenberge Transkaspiens bei Tscheleken im Salzwasser untertauchen, wie die orangeroten Dünen bei Ismailia mit dem grauen Salzmergel der Bitterseen wechseln, dann versteht man die große Mannigfaltigkeit der Gesteine, die eine litorale Schichtenfolge aufbauen können.

Die Lagunen der rezenten Korallenriffe erläutern uns das seltsame Bild, das uns eine lithogenetische und bionomische Analyse der Solnhofener Pattenkalke entrollt. Wie sich hier festländische Araukarienzweige, Gingkoblätter, Reptilien und Insekten mit den Fischen der Hochsee und den Krebsen der Tiefsee mischen, so können wir auch im Hangenden älterer Riffkalke ähnliche Schichtenfolgen erwarten. Die mitteldevonischen Massenkalke bei Lethmate bieten dem biologisch denkenden Geologen ein glänzendes Beispiel solcher Erscheinungen. Deutlich sehen wir hier, wie die ebenflächigen, kalkarmen, liegenden Tonschiefer von zahllosen Korallenkrusten, Stromarien und anderen bodenbewohnenden Tierkolonien überwachsen wurden, die rasch in eine ungeschichtete höhlenreiche 500 m mächtige Riffmasse übergehen, die unser Auge fesselt. In bunter Formenfülle sammeln wir zwischen den härteren Stöcken die kleineren Einzelkorallen, Brachiopoden, Schnecken und Trilobiten, die als korallophile Lebensgenossen hier gediehen. Dann folgen, genau wie im Frankenjura, dünnplattige Kalke, arm an Organismen, augenscheinlich als chemischer Niederschlag in flachen Lagunen entstanden. Endlich treffen wir diagonalgeschichtete Dünenkalke, mit denen die marine Riffbildung ihr Ende erreicht.

Trockenrisse (Netzleisten) und Fährten können sich zwar auf dem Strand leicht bilden, allein sehr schwer erhalten. Die Fußspuren, die wir beim Wandern über den ebbeentblößten Strand hinterlassen, werden bei der folgenden Flut überspült und verschwinden restlos; selbst die

Rippelmarken der strandnahen Düne lösen sich im Wandersand wieder auf und was man in manchen älteren Sandsteinen als fossile Regentropfen gedeutet hat, ist meist ganz anders zu erklären. Nur auf vergänglichen Wasserlachen inmitten des trockenen Landes ist die Möglichkeit der Erhaltung solcher Erscheinungen gegeben.

Dagegen ist das sandige Seichtwasser die Heimat der sandfressenden und im Sand oder Schlamm grabenden und wühlenden wurmähnlichen Tiere. Wer über den Ebbestrand geht, ahnt meist nicht, welche ungeheure Fülle von ganz verschiedenen Tieren unter der scheinbar glatten Fläche lebt. Zahllose Cölenteraten, Echinodermen, Würmer, Brachiopoden (Lingula) und Muscheln vergraben sich bei Ebbe im wasserreichen Sand, und ebenso wie die kambrischen Scolithusquarzite mögen viele fossile Sandsteine zur Zeit ihrer Bildung ganz von Weichtieren durchwühlt und belebt gewesen sein. Die noch immer rätselhaften Schlangenwülste im Wellenkalk und viele von dem Sammler meist übersehene oder verachtete „Spongien" und „Kriechspuren" verdienen sorgfältigste Prüfung: Ich habe in den kambrischen Eophyton-Sandsteinen von Lugnos etwa 10 verschiedene solcher Formen unterscheiden und sammeln können, deren organische Entstehung keinem Zweifel unterliegen kann.

So werden auch Anhäufungen von Seetang in toten Buchten angetrieben, die geringmächtige marine Kohlenschmitzen bilden, und solche meist unreinen Kohlen spielen in der Altzeit eine große Rolle als Ruß- und Alaunschiefer oder dunkle Schiefertone.

Dieselbe Mannigfaltigkeit der Gesteine zeichnet all die kleinen und großen **Untiefen** vor, die oft viele Meilen von der Küstenlinie entfernt alle Symptome einer „Strandbildung" erkennen lassen.

Ebenso wie die Eisberge an der Grenze der nivalen Region an allen Ufern stranden und leicht von Untiefen festgehalten werden, so können auch die gewaltigen Bimssteindecken, die nach großen vulkanischen Eruptionen auf dem umgebenden Meere schwimmen, besonders leicht am fernen Strand angetrieben werden und durch Meeresströmungen an bestimmten Ufergebieten in ungeheurer Masse zur Ablagerung kommen.

Flache Buchten werden zum Sammelort für Graptolithen, Fusulinen und Nummuliten, ebenso wie sich ihr Boden mit der Drift leerer Orthozeras- oder Ammonitenschalen und leichter Belemiten bedeckt.

II. Mit zunehmender Wassertiefe und in einem sehr wechselnden Abstand von der Küstenlinie beginnt mit allmählichem Übergang die **Flachsee**, die im Gegensatz zu dem unübersehbaren Fazieswechsel des Litorals von verhältnismäßig gleichartigen Sedimenten bedeckt ist. Überall, wo die Wellen schräg ans Ufer laufen, erzeugen sie eine der Küstenlinie parallele Strömung, auch die meisten Meeresströmungen gleiten an langen Küstenstrecken entlang und mischen nicht nur die Wasser, sondern auch

die darin über dem Boden aufgewühlten Lockermassen. So kommt es, daß die von den Flüssen ins Meer getragenen ebenso wie alle durch lokale Staub- und Sandstürme hineingewehten festländischen Verwitterungsprodukte über den ganzen Küstensaum verteilt und so miteinander gemischt werden, daß eine ziemlich einheitliche Decke von bläulichem Schlamm den Flachseeboden überzieht.

Um die an zahllosen Dredgezügen, Grundproben und Analysen des Blauschwamms erkennbaren physikalischen und chemischen Unterschiede richtig würdigen zu können, muß man wissen, daß J. Murray alle Sedimente, die bis 35 % in Salzsäure löslichen Kalk enthielten, Blauschlamm nannte. Man darf also jetzt nicht hervorheben, daß diese willkürliche Grenzzahl, wie es aus vielen Kartendarstellungen hervorzugehen scheint, eine reale Bedeutung hat. Vielmehr können wir nur sagen, daß dem Blauschlamm große und kleine Kalkreste in wechselndem Verhältnis beigemengt sind.

Nach K. Andrée ist besonders der Schlamm der Polarmeere sehr kalkarm, während sich der Kalkgehalt in der Umgebung tropischer Korallenriffe zu reinem Kalkschlamm steigern kann. Andere Flächen zeigen eine Anreicherung von phosphorreichem Kot oder enthalten solche Mengen von Schwefelverbindungen, daß sie sich rasch schwärzen. Aus den in verschiedenen Tiefen gefundenen Schwülen (Konkretionen) von Phosphorit, Dolomit, Eisenspat, Mangan, Schwefelkies und Schwerspat darf man schließen, daß auch diese Stoffe örtlich angereichert vorkommen.

Von besonderem geologischen Interesse ist der Grünschlamm und Grünsand, der in flachen und mittleren Tiefen weite Flächen bedeckt. Meist handelt es sich um eine chemische Ausscheidung von Glaukonit in rundlichen Körnern oder als Ausfüllung kleiner hohler Kalkschalen, nach deren Auflösung grüne Steinkerne zurückbleiben. Ihr Auftreten ist an das Zusammentreffen verschieden kalter Meeresströmungen gebunden und hängt wohl mit dem dadurch bedingten Absterben zahlloser Planktontiere zusammen.

Auffallend ist die weite Verbreitung solcher glaukonitischer Sedimente in manchen Formationen. In der westfälischen Kreide finden sich solche fast in allen Abteilungen; hier müssen also immer wieder ähnliche lithogenetische Bedingungen geherrscht haben.

Der wesentlich aus äolischem Staub und Flußschlamm gemischte graue, grüne oder blaue Kontinentalschlamm, dem in der Nähe von Vulkanen beträchtliche Mengen von zertrümmerten Magmaresten, an Korallenriffen große Massen von Kalkschlamm, in der Nähe verwitternder Gesteine noch viele andere Bruchstücke beigemengt werden, wird hauptsächlich durch die marine Lebewelt in einzelne Faziesgebiete zerlegt, und da diese ihrerseits von bionomischen Umständen abhängig sind, ist eine Fazieskarte der Flachsee im wesentlichen eine flächenhafte Projek-

tion der im darüberstehenden Wasser herrschenden klimatisch-biologischen Bedingungen.

Im flachen Küstensaume herrschen die braunen und grünen, dann folgen die gelben und roten Pflanzen, und während sich an das Litoralgebiet eine von autotrophen und den von ihnen sich nährenden heterotrophen Lebewesen ungemein reiche Zone anschließt, ändert sich mit zunehmender Tiefe die Zusammensetzung der Fauna. Schlammfresser und Fleischfresser überwiegen und nur die aus dem offenen Wasser der Hochsee herabsinkenden Reste mischen sich überall mit der Bodenwelt. Mögen pelagische Foraminiferen und Radiolarien der Gegenwart oder Nummuliten, Fusulinen und Graptolithen der Vorzeit im Meere schweben, ihre Hartgebilde finden sich in allen Tiefen des Ozeans ebenso wie der trockne aus der Atmosphäre herabfallende oder mit jedem Regentropfen ausgewaschene festländische Staub.

Weit verbreitet ist die Annahme, daß der Schlamm am Boden des offenen Meeres wesentlich aus den großen Flüssen stammt, die in das betreffende Becken münden. Aber schon Murray und Renard haben bei ihren Untersuchungen der Tiefseesedimente erkannt, daß festländischer Schlamm nur einen Gürtel um die Kontinente bildet, die Flächen der flachen Nebenmeere bedeckt, an gletscherreichen Polarküsten als breite, in wärmeren Meeren als schmale Zone die Ufer säumt, aber nicht bis in die küstenfernen Wasserbecken hineinreicht. Alle späteren Tiefsee-expeditionen haben das Fehlen terrigenen, d. h. mineralogisch bestimmbaren Materials am Boden der Tiefsee bestätigt.

Die ausflockende Wirkung des Seewassers auf den Schlammgehalt der Flüsse kann diese auffallende Tatsache nicht allein erklären. Vielmehr müssen wir uns darüber klar werden, daß fast alle Sedimente am Boden der Tiefsee aus den senkrecht darüber lagernden Zonen der Hydrosphäre, Biosphäre und Atmosphäre stammen.

Die planktonische Diatomeenflora der kälteren Meere, die verwesenden Tangreste des sog. Sargassomeeres, die Kalkschalen der Coccolithophoriden, die hornigen Gehäuse vieler Flagellaten sinken in die tieferen Wasserschichten ebenso hinab, wie die kalkigen Hüllen der Globigerinen und Pteropoden, die Schuppen und Otolithen sterbender Fische oder die Kieselskelette der Radiolarien.

Unvergleichlich wichtiger aber ist die Verbreitung festländischen feinsten Staubes über die Flächen aller Meere. G. Schott hat in umstehender Karte die Verbreitung der Staubfälle im mittleren Atlantik dargestellt. Aber was uns dieses eindrucksvolle Bild lehrt, daß von einer etwa 1500 km langen flußleeren Küste aus, eine Fläche von 25 mal 25 Breitengraden mit feinstem Wüstenstaub überstreut wird, das trifft für viele ähnliche Meeresbecken zu. Die Menge des vom Festland stammenden, durch Deflation entstandenen und äolisch bewegten Fein-

staubes ist fast unberechenbar. Wer in den Wüsten der Gegenwart die gewaltigen Hohlformen untersucht hat, die durch äolische Auswehung entstanden sind, wer die zahllosen Staubwolken und Staubnebel gesehen hat, die aus jeder Wüste Tag und Nacht ungeheure Mengen von Verwitterungspulver heraustragen, wer die steinigen Lesedecken und die Sandmeere der Wüsten als Ausleseprodukt von Verwitterungsmassen betrachten lernte, aus denen vielleicht $^2/_3$ des ursprünglichen Volumens durch den Wind entfernt wurde, und wer an so mancher einsamen Wüstenküste diese Staubmassen über die Meeresfläche dahinziehen sah — der weiß, daß der überwiegende Teil aller marinen anorganischen Schlammablagerungen durch Deflation entstanden und äolisch nach dem Ozean getragen worden ist.

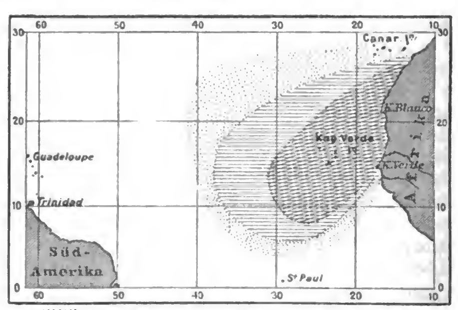


Abb. 5. Die Häufigkeit der Staubfälle an der afrikanischen Küste nach G. Schott.

Es hängt nun ganz von dem Wechselspiel zwischen der Vermehrung der marinen Planktone und der Ausdehnung der ariden Zone ab, welches dieser beiden Sedimente in einem Meere die Oberhand besitzt. In der älteren Periode, als alle Festländer noch Urwüsten waren, mußten viel größere Massen äolischen Staubes zu Meeresschlamm werden, als nach Besiedelung des Festlandes durch die Biosphäre. Aber sowohl die Bildung ungeschichteter mariner Schiefer, wie die Entstehung der Schichtung und Bankung mariner Kalke hängt mit der Deflation der festländischen Wüsten auf das engste zusammen. Die Bedeutung festländischen Staubes für die Bildung des rezenten roten Tiefseetones und der Diatomeenablagerungen der hohen Breiten haben wir schon früher betrachtet.

Zu der äolischen Komponente des Tiefseeschlammes kommt aber endlich noch die Beimischung vulkanischer Feinaschen. Auch hier ist der mineralogische Nachweis des Ursprungs vieler rezenter und fossiler

mariner Sedimente nicht zu erbringen, weil es sich um ein so fein zerstäubtes Material handelt, daß bestimmbare Mineralien nicht darin auftreten. Aber die Entstehung zahlloser Tonschiefer und Schiefertone der älteren und vieler mariner Tongesteine der mittelzeitlichen Perioden hängt mit vulkanischen Eruptionen zusammen, die vielleicht viele tausend Meilen fern von ihrem Ablagerungsort erfolgten.

Man muß sich nun darüber klar werden, daß die Farbe eines auf solchem Wege entstandenen feinschlammigen Sedimentes nicht von der Farbe des Ursprungsgesteins oder der Farbe der festländischen Verwitterungsdecke bestimmt wird, sondern von dem Klima des Meeresbodens, auf welchem der Staub abgelagert wird. Ebenso wie ein karminroter Lateritstaub in einem regenreichen Klima rasch zu Braunerde verwandelt wird, wie aus demselben sogar unter bestimmten klimatischen Umständen helle Bleicherde oder dunkler Regur entsteht, so kann durch die chemischen und physikalischen Bedingungen am Meeresboden ein roter eisenhaltiger Passatstaub zu grünem glaukonitischen Schlamm oder zu Blauschlamm werden; ja am Boden einer stagnierenden Halistase verwandelt er sich in einen schwefelkiesreichen schwarzen Schiefer. Denn überall bestimmen die herrschenden klimatischen Umstände die stabile, bleibende Zusammensetzung der chemischen Verbindungen in den neu entstehenden Lockermassen.

Die Zunahme verwesender Teile im Sediment bedingt es, daß die bunten Farben des lettenbildenden Staubes rasch verschwinden und durch das eintönige Blaugrau der Flachsee ersetzt werden. Beobachten wir doch auch bei jeder marinen Transgression (z. B. Zechstein über Rotliegendem) über buntgefärbten oder lateritisch verwitterten Gesteinen, daß ihre Farbe von obenher in ein einfarbiges Graugrün verwandelt wird.

Wie uns die von Murray zuerst entworfene und von K. Andrée verbesserte Karte der rezenten Meeressedimente augenfällig zeigt, ist deren Verteilung völlig unabhängig von der Lage der Pole wie der Breitengrade.

Würde nicht das seltsame Band des antarktischen Diatomeenschlammes eine so auffallende Zone bilden (deren Größe übrigens durch die Flächenprojektion der Karte ungemein übertrieben wird), so könnte man keine rezente marine Sedimentgrenze zu paläoklimatischen Untersuchungen verwerten. Selbst die von der Oberflächentemperatur so abhängigen Korallenriffe bilden im Indischen Ozean meridionale Streifen von Korallenschlamm, aus deren Verbreitung niemand die Lage des Äquators erkennen würde. Das rätselhafte Fehlen der Korallenriffe und der von ihnen abhängigen Kalksedimente in dem ganzen westaustralischen Meer warnt ebenfalls vor dem Versuch, auf diesem Wege ehemalige Klimazonen zu rekonstruieren.

Wir müssen immer wieder daran erinnern, daß der Meeresgrund mit allen lithologischen und biologischen Erscheinungen akli-

matisch ist, weil das dichte Medium des Wassers die direkte Wirkung der Sonnenstrahlung auf den Meeresgrund aufhebt und dieser nur indirekt von dem langsamen Niedersinken des kalten Polarwassers beeinflußt wird.

Dieselben langsamen, in ihrem Ausmaß und ihrer Richtung noch kaum erforschten Sinkströme regeln aber auch die Verteilung der planktonischen Reste über den Boden des tiefen Meeres. Die Grenzen eines Radiolarienschlammes der Tiefsee werden viel weniger von dem Lebensraum der Radiolarien, wie von den Transportwegen der allgemeinen Wasserzirkulation bestimmt.

Für die Ablagerungen mittlerer Tiefen ist es bezeichnend, daß die Wellenbewegung des darüberstehenden Wassers zu schwach ist, um eine mechanische Aufbereitung des Sedimentes zu bewirken. Dieses selbst besteht meist aus einem so gleichkörnigen Material, daß keine Lesedecken auf den Schichtenflächen ausgewaschen werden konnten. Nur die mehr oder minder verschiebbaren und beweglichen hornigen Panzer und Skeletteile der dort lebenden oder hinabsinkenden Tiere werden zwischen fossilarmen dunklen, schwefelkiesreichen Letten oder Tonschiefer fossilreichere Zonen bilden, die unter dem Hammer leichter aufspalten Es tritt hier also die primäre, durch Auflagerung von Massen verschiedener Schwere und Dichte gegenüber der durch Auswaschung gemischter Materialien entstehenden sekundären Schichtung in den Vordergrund. Man wird, von der Küste gegen das offene Meer vorschreitend, diese verschiedenen Zonen mit wechselnder Breite nebeneinander aufsuchen müssen und daneben der von oben kommenden Staubüberwehungen gedenken müssen, um eine Schichtenfolge dieser mittleren Tiefen richtig zu beurteilen. An Steilküsten und im Innern langgestreckter Fjordbuchten wird man aber schon in nächster Nähe der Küstenlinie dasselbe finden, was auf flachem, untiefenreichem Boden erst in großer Entfernung vorkommt.

Das mehr oder minder breite Schlammgebiet der Flachsee, das unabhängig von den Breitengraden und parallel der Küstenzone um die Festländer zieht, ist die Heimat allen Lebens und auch heute noch die Meeresregion, in der die Wasserwelt ihre größte Mannigfaltigkeit und den größten Reichtum entfaltet. Von den Sonnenstrahlen durchlichtet und durchwärmt, von nahrungschaffenden Pflanzen bewohnt, von den Wellen beständig mit Sauerstoff gesättigt und von den Strömungen immer neu mit den Schwärmen meroplanktonischer Larven übersät, finden diese nach kurzer oder weiter Wanderung günstige Siedelungsbedingungen, die um so mannigfaltiger sind, je mehr flache oder höhere Untiefen seine Ebenheit gliedern. Hier leben die meisten festsitzenden Pflanzen und stockbildenden Tiere, hier ist die Heimat aller mit harten Panzern geschützten oder durch starre Verzierungen ausgezeichneten Formen, hier werden Hartgebilde in den Lockerboden eingebettet, die auch im

diagenetisch veränderten Zustande leicht erkannt und systematisch bestimmt werden können.

So ist die Flachsee das eigentliche Forschungsgebiet der Paläontologie, und wenn es auch oft unmöglich ist, genau zu ergründen, ob ein fossiles Tier in 100 oder 400 m Tiefe gelebt hat — seine Zugehörigkeit zur lebensreichen Flachseeregion ist meist ohne Mühe festzustellen.

Als Forbes zum erstenmal mit dem Schleppnetz die Tiefen des Ägäischen Meeres untersuchte, war er überrascht, daß hier unterhalb 100 m alles Leben anfhörte, und die Entdeckung des in 1000 m Tiefe lebenden Rhizocrinus lofotensis durch Sars erregte allgemeines Staunen, weil man sich daran gewöhnt hatte, die Schlammgebiete des tiefen Meeres überall für unbelebt zu halten.

Heute sind viele Paläontologen geneigt, alle Meeresböden für tierreich zu halten, obwohl auch hier leblose Wüsten weitverbreitet sind. Man kann selbst in dem wegen seines Tierreichtums so berühmten Golf von Neapel weite Flächen des Schlammbodens mit dem Schleppnetz untersuchen und findet darin außer einigen Ophiuren, Würmern und Muscheln fast keine lebende Form. Erst wenn man auf einer jener Untiefen (Secca) fischt, die sich über dem Fango erheben, kommt das Schleppnetz mit einem überraschend bunten Tierleben gefüllt herauf.

III. Wie Inseln von verschiedener Höhe und Gestalt überragen zahlreiche solcher Untiefen das Schlammgebiet der Flachsee, und oft kann eine Kolonie schlammbefestigender Würmer, eine diagenetisch verhärtende Konkretion oder eine Spongienkruste den ersten Ansatz für eine Tierkolonie bilden, die von hier immer weitergreifend große Nachbarflächen überzieht und inmitten der eintönigen Schlammfläche eine neue fossilreiche Fazies schafft.

Die genaue Untersuchung von Kalklinsen, anders gefärbten oder besonders fossilreichen Zwischenschichten und Einlagerungen in einer dunkeltonigen Schichtenfolge ist allein imstande, solche Vorgänge aufzuklären. Auf diesem Gebiet kann der Geologe dem Tiergeographen die wertvollsten Aufschlüsse liefern.

Die Untiefen gehören zu dem überaus mannigfaltigen Faziesgebiet der Archipele, welche sich bis über den Meeresspiegel erheben und mitten im Ozean, oft Hunderte von Meilen von der eigentlichen Küste entfernt, dasselbe lithologische Verhältnis bieten, wie das Küstengebiet.

Hier gesellt sich zu dem Strand mit dem nahen Küstenstreifen und dem benachbarten Süßwasser, über dem Meeresspiegel das nivale, aride oder pluviale lebensarme oder reichbesiedelte Festland und an das brandungsreiche flache Ufergebiet schließt sich eine Zone von Flachsee, die vielleicht zu großen Tiefen hinabsinkt, während die Hochsee von allen Seiten an die Inselgruppe heranreicht. So bietet der zonare Aufbau klimatisch grundverschiedener Zustände einer überaus mannigfaltigen Flora

und Fauna den Lebensraum und jenen Faziesreichtum, auf dem die Bewohner scheinbar widerspruchsvoller Lebensbezirke nebeneinander leben und miteinander in dasselbe Grab eingebettet werden.

Durch die Mannigfaltigkeit der Lebensbedingungen, die in nächster Nähe nebeneinander auftreten, gehören die Archipel zu den interessantesten, aber zugleich schwierigsten Gebieten des Meeresgrundes. Wenn wir in den Tuffen der Seißeralp mitten zwischen Einzelkorallen und reichverzierten Schnecken abgerollte Riffkorallenblöcke und kohlige Schmitzen, ja sogar meterlange Stücke von Cycadeenholz finden, dann wird uns der biologische Widerspruch dieser Formen nur verständlich, wenn wir uns erinnern, daß das Schlernriff mehrere hundert Meter über tieferes Wasser aufragte, an dessen Boden die Pflanzen der niedrigen Koralleninsel mit den viel tiefer lebenden Meerestieren vermischt wurden.

Die erdgeschichtliche Bedeutung der Archipele wird uns erst deutlich, wenn wir sie nach ihrer geologischen Entstehung in verschiedene Gruppen einteilen, die sich leicht in jedem Aufschluß durch eine fossile Inselgruppe unterscheiden lassen.

1. Auf ebenem Meeresgrunde wachsen hohe Vulkaninseln auf, deren Gesteine leicht zu unterscheiden sind. Besonders die devonischen Diabasvulkane bieten lehrreiche Beispiele für die Neubildung eines solchen Archipels.

2. Ebenso leicht lassen sich geologisch die Kalkriff-Inseln wiedererkennen, die auf sinkendem Grunde große Höhe und Mächtigkeit erreichen können. Die devonischen und unterkarbonischen Massenkalke, die Zechsteinriffe, die alpinen Riffdolomite und die Malmkalke verdienen von diesem Gesichtspunkt eingehende Untersuchung.

3. Ungemein häufig treten auf einem vielleicht nur von flachen Untiefen gegliederten Meeresboden vielgestaltige Inselgruppen auf, wenn eine Regression des Meeres denselben verlandet. In einem späteren Abschnitt werden die damit verbundenen Vorgänge noch eingehend behandelt. Hier kann nur betont werden, daß jede größere Schichtenfolge solche Beispiele erkennen läßt. Die Übergangsgesteine vom oberen Jura zur unteren Kreidezeit mit ihren Sanddünen und Kohlen, schwarzem Wattenschlamm und artenarmen Faunen, Landpflanzen und amphibisch lebenden Reptilien sind hierfür besonders lehrreich.

4. In ganz ähnlicher Weise bilden sich bei jeder Transgression aus dem vorher einheitlichen Festlande zahlreiche Inseln, auf denen sich eine merkwürdige Reliktenfauna noch erhält, während das herandringende Meer eine neue Lebewelt mit sich bringt, die rasch zur Herrschaft gelangt. Auch hier wird nicht allein die niedere Tierwelt umgestaltet, sondern auch die Flora der Inseln kann durch treibende Samen und Nüsse neue Elemente erhalten, die, auf einem fernen Festlande entstanden, nur durch weittragende Meeresströmungen an die Inselgruppe

gelangen. Das Wechselspiel der eine Transgression hervorrufenden und begleitenden Umstände wird uns im letzten Teil noch beschäftigen.

Eine von festländischen Erfahrungen auf den Meeresgrund übertragene Ansicht, die bei vielen paläographischen Erörterungen und Darstellungen zum Ausdruck kommt, glaubt, daß ebenso wie die festländischen Gebirge meist scharfe tiergeographische Grenzen bilden, auch am Meeresgrund trennende langgestreckte Untiefen die Faunen der benachbarten Meeresteile scheiden. Aber genau das Gegenteil ist der Fall: Jede Untiefe, jede untermeerische Schwelle verbindet faunistisch die entfernteren Gebiete der Flachsee, denn hier finden wandernde Jugendformen einen Siedelungsort und auf solchen Brücken kann sich dieselbe Fauna in derselben Tiefe über weite Meeresräume verbreiten.

IV. Die kaum einen Meter mächtige Schicht des von der marinen Wasserwelt belebten Meeresbodens wird überlagert von den offenen, beständig durcheinander bewegten Fluten der Hochsee, die als Lebensraum zahlloser Pflanzen und Tiere eine ungeheuer wichtige Rolle im Lebenshaushalt des Meeres spielt, aber doch selbst nicht fossil werden kann. Nur wenn eine Meeresbucht durch das Wüstenklima eingedampft wird, kann man den gesamten ehemaligen Inhalt der großen Wassermasse in dem neuentstandenen Salzlager erhalten sehen.

Trotzdem also die Hochsee selbst nicht fossil werden kann, sinken doch ihre sterbenden Bewohner hinab und ihre Hartgebilde mischen sich mit den Überresten bodenbewohnender Tiere.

Es ergeben sich große Schwierigkeiten für die bionomische Analyse und das Verständnis einer fossilen marinen Lebewelt, wenn man die Lebewesen der Hochsee als integrierende Bestandteile der Bodenwelt betrachtet, und viele schwerwiegende Irrtümer in der paläontologischen Literatur sind entstanden, weil man diese grundverschiedenen Lebensgebiete nicht scharf auseinandergehalten hat. Beruht doch die ganze Lehre Neumayrs von den Klimazonen der Jurazeit auf diesem Mißverständnis.

Wir haben früher gezeigt, daß die Temperatur der Meeresoberfläche und der obersten 100 m Wasser annähernd nach Breitengraden senkrecht zur Erdachse verteilt ist. Eine akrothermische Meereskarte entspricht also den Forderungen, die man an eine nach Klimazonen eingeteilte Erdoberfläche stellen kann. Aber man darf doch nicht vergessen, daß kein einziges bodenständiges Tier inmitten der Hochsee lebt (wenn man nicht an die isolierten Inseln und Archipele denken will) und daß mithin die Verteilung der Überreste der hier lebenden Organismen nur von den Meeresströmungen, nicht aber von der Temperatur ihres Lebensraumes bestimmt wird. Schwebendes Plankton und schwimmendes Nekton werden also nach dem Tode von ganz anderen Umständen verteilt, als zur Zeit ihres Lebens.

In viel drastischerer Weise zeigen dies die passiv treibenden Überreste aller am Boden des Meeres oder innerhalb der Wassermasse lebenden Tiere, die mit mechanisch wirksamen Schwebeeinrichtungen versehen sind, wie die Kammerung der Cephalopoden, das spongiöse Gewebe der Belemniten, die stachelbesetzten Globigerinen und Radiolarien oder andere Schwebewesen mit kleinem Inhalt und großer Oberfläche. Selbst wenn die Ammoniten „gute Schwimmer" gewesen wären, so hätten sie ihre Muskelkraft dazu benutzt, um sich innerhalb der durch ihre Nahrungstiere bestimmten klimatischen Grenzen zu erhalten, nicht aber etwa, um Exkursionen in ein ihren Lebensbedingungen fremdes Gebiet zu unternehmen. Waren aber ihre Luftkammern, wie beim lebenden Nautilus, wirklich mit Luft erfüllt, dann wurden sie nicht da eingebettet, wo sie lebten, sondern notwendig da, wo die ihre Schalen verfrachtenden Strömungen zur Ruhe kamen, oft fern von ihrem Wohnort und sogar auf einer ihnen fremden Fazies. Gerade darin liegt ihre große Bedeutung als Leitfossilien. Es ist daher völlig zwecklos, mit Hilfe der Verteilung von leeren Ammonitenschalen die jeweiligen Klimazonen bestimmen zu wollen.

V. So sinken die Leichen aller schwebenden, schwimmenden und treibenden Organismen aus der Hochsee zur Tiefsee hinab und werden völlig regellos zwischen die dort lebenden Formen eingestreut. Keine planktonische Globigerine, noch ein nektonischer Fischzahn, kein Sepiaschulp und keine Cephalopodenschale bezeichnen mit irgendwelcher Sicherheit den Ort, über dem die betreffende Art gelebt hat.

Das gilt vor allem auch für alle diejenigen Tiere, die sich durch ihr Gebiß als räuberische Nomaden kennzeichnen. Sie haben keine Heimat, kennen keine anderen Verbreitungsgrenzen als diejenigen ihrer Beutetiere und ihre Reste werden daher zwischen vielerlei andere Fazies eingestreut.

Die Hochsee ist aber nicht allein der Tummelplatz einzelner Räuber, sondern vor allem der Lebensraum der Tierschwärme.

Während die Bodenwelt des Meeres durch das Zusammenleben vieler voneinander biologisch abhängiger Gattungen und Arten ihren vielgestaltigen Formenreichtum erhält, tritt das Plankton und Nekton des offenen Meeres in individuenreichen Schwärmen derselben Art und Rasse auf. Wer mit den an der Zoologischen Station zu Neapel so ausgebildeten Methoden des Planktonfanges vertraut, auf weiten Seereisen die den meisten Beobachtern kaum sichtbaren, zarten Bewohner der Hochsee vom Bord des Dampfers oder vom Segelboot aus verfolgt hat, der weiß, wie häufig auf der Meeresoberfläche die violetten Physalien oder Velellen, die Salpen oder Pyrosomen, Medusen oder Ctenophoren, Krebse oder Fische in unzähligen Scharen vorbeitreiben, und selbst der nächtliche Glanz des Seeleuchtens verrät ihm die Zahl gleichgeformter Tiere, die nach Sonnenuntergang aus der dunklen Tiefe emporsteigen.

Obwohl ihre Hartgebilde meist ebenso durchsichtig sind, wie ihre Gewebe, so finden wir doch manche Formenkreise darunter, welche zarte Kieselhüllen oder Kalkschalen absondern, die nach dem Absterben zum Meeresgrund hinabsinken. Dieses Absterben und der daraus entstehende Regen fallender Skelette wird überall da am lebhaftesten sein, wo sich das Klima der Meeresfläche ändert, also beim Überschreiten klimatrennender Breiten oder an den Rändern der Meeresströmungen. Endlich werden die Schwärme der Planktonfresser als Sammler solcher Hartgebilde eine große Rolle spielen und sie dahin bringen und dort anhäufen, wo sie selbst ihre Ruheplätze haben.

Bedenken wir aber, daß die kleinen Planktonreste viele Tage brauchen, um in dem ihrem spezifischen Gewicht fast entsprechenden Wasser unterzusinken, daß Ausgleichsströmungen in allen Richtungen die Wassermassen durchkreuzen, daß warme und kalte Wasserschichten von verschiedener Dichte oft miteinander wechsellagern — dann kann man verstehen, daß sich der Lebensbezirk der in der Hochsee lebenden Organismen, selbst wenn sie erhaltungsfähige Hartgebilde besitzen, keineswegs auf dem Meeresgrund projiziert, sondern daß ihr Fundraum davon grundverschieden ist.

So finden wir die Schalen der heute in ungeheuren Scharen in der obersten Schicht der Hochsee lebenden Globigerinen mit mehreren geographisch umgrenzten Arten so zahlreich in Tiefen von 2000—6000 m, daß man, besonders im Atlantik, den charakteristischen Globigerinenschlamm als das verbreitetste Tiefseesediment betrachten darf. Es wechsellagert bisweilen mit dem Roten Tiefseeton, woraus man schließen kann, daß schon in diluvialer Zeit ähnliche Schwärme von Globigerinen im Meere verbreitet waren. Aber in den flachen Rifflagunen der Malediven fand Gardiner schon von 62—88 m Tiefe einen an Globigerinen, Orbulina, Pullenia und Pulvinulina ebenso reichen Kalkschlamm.

Ganz dieselbe Erfahrung machen wir beim Betrachten der kalkigen Tiefseeablagerungen im mittleren Atlantik, die nach dem Vorwiegen von zahlreichen Pteropodenresten benannt worden sind. Auf den ersten Blick scheint zwischen einem Pteropodenschlamm und dem normalen Globigerinenschlamm ein wesentlicher Unterschied zu bestehen, allein es ist doch nur das lokale Vorwiegen der tütenförmigen Kalkschalen inmitten rundlicher Foraminiferen, was so auffällt. Die Lebensbedingungen beider Planktonwesen sind einander überaus ähnlich. Daher treffen wir sie auch gemischt in demselben Lagunenschlamm der Malediven — an diesem Fundort abgelagert in der Meerestiefe, die ihren wirklichen Lebensumständen entspricht, und gesammelt in einem flachen Seichtwassserbecken.

Ob der aus kieseligen Skeletten von Radiolarien zusammengesetzte Radiolarienschlamm des Indik und Pazifik deshalb hier so gehäuft ist, weil jene in dem heute darüberstehenden Wasser so zahlreich

leben, oder weil sie dort mit Ausschluß anderer Sedimente zur Ablagerung kommen, ist eine schwer zu entscheidende Frage. Ganz wie bei den oben besprochenen Sedimenten der abyssalen Tiefe hängt dies teilweise sogar mehr mit systematischen als mit genetischen Problemen zusammen. Denn die Biologen des Challenger nannten ein solches Sediment, das mehr als 20 % Radiolarienskelette enthielt, Radiolarienschlamm, trennten also die kalkarmen, weniger Radiolarien und Spongiennadeln enthaltenen, in zahllosen Übergängen vorhandenen Sedimente davon ab. Tatsächlich sind die Radiolarien in allen anderen Ablagerungen des Ozeans auch vorhanden, fallen aber hier nicht auf, weil sie in einer größeren Menge anderen Materials verteilt sind.

Dasselbe gilt von dem Diatomeenschlamm des Südpolarmeeres, der mit erratischem oder vulkanischem Material so gemischt auftreten kann, daß alle Grenzen verfließen, weil auch die Diatomeen nur in der obersten Wasserschicht leben und am Tiefseegrund als bodenfremde Elemente ihr Grab finden.

Als sich J. Murray nach Untersuchung der rezenten Tiefseeablagerungen, die er mit dem Challenger erbeutet hatte, an zahlreiche Geologen wandte, mit der Bitte, ihm Gesteine aus älteren Perioden zu senden, die man als „fossile Tiefseebildungen“ betrachtete, kam er zu dem überraschenden Ergebnis, daß kein einziges derselben als abyssal angesprochen werden könne. Nur der globigerinenreiche Kalk von Malta erinnerte an die heutigen Tiefseegesteine.

Ich selbst habe zahllose Gesteine, von den Radiolariten Rüsts bis zu den Schiefern älterer Perioden, eingehend nach ihrer bathymetrischen Entstehung geprüft und dabei vor allem ihre Einordnung in die natürliche Schichtenfolge untersucht. Denn es kann doch keinem Zweifel unterliegen, daß eine als Tiefseeablagerung zu betrachtende Schichtenreihe nach dem Liegenden oder nach dem Hangenden in konsequenter Folge mit Ablagerungen aus mittleren und geringen Tiefen verbunden sein muß.

Wenn ein flaches Becken zur Tiefsee hinabtauchte oder ein Tiefseebecken allmählich zugefüllt wurde, muß man doch erwarten, daß zwischen beiden Extremen auch alle vermittelnden Übergangsgesteine eingeschaltet sind. Aber es ist mir kein Fall solcher Art bekannt geworden.

Dagegen gibt es eine Anzahl Gesteine, die neben solchen Tierformen, die heute am Tiefseeboden abgelagert werden, auch zweifellose Litoralformen enthalten. So enthält der bekannte miozäne Tripel von Caltanisetta, ein Gemisch von Radiolarien, Diatomeen, Spongien und zerriebenen Kalkresten, zwischen denen Süßwasserfische, Laubblätter und Holzstücke liegen. Wer dieses, zwischen anderen Strandbildungen eingeschaltete Sediment als Tiefsee mit „eingeschwemmten Landformen“ ansehen möchte, der sollte in der nahen Meerenge von Messina die berühmten Radio-

larienfangplätze besuchen, aus denen die eleganten Tiefseeradiolarien stammen, die E. HAECKEL in seiner klassischen Arbeit beschrieben hat. Sie wurden nach Südstürmen erbeutet, wenn mit den Apfelsinenschalen, Korkstücken und Grashalmen seltsame Tiefseefische und andere Bewohner der dunklen Tiefengründe zusammengetrieben wurden.

So steigen aus den Abgründen des Golfes von Neapel durch die merkwürdige Ammonta'ura (eine schmale ansteigende Rinne) nur nach heftigen Südweststürmen abyssale Ctenophoren, Cephalopoden, Krebse und Fische empor und werden als viel begehrte Seltenheit nach der Zoologischen Station eingeliefert.

Wir kommen also zu dem Ergebnis, daß die Sedimente des Meeresbodens, trotz aller Übergänge, bestimmte Faziesgebiete unterscheiden lassen, innerhalb deren durch ähnliche klimatisch-lithogenetische Umstände korrelativ zusammengehörige Ablagerungen entstehen. Aber nicht die systematische Stellung der in ihnen vorwiegenden Formen, sondern ihre bionomische Organisation und ihre Anpassung an bestimmte klimatische Umstände erlaubt uns, deren Fazies zu bestimmen, und jede Periode der Erdgeschichte wurde von anderen Bedingungen geregelt und von anderen Formenkreisen beherrscht.

Literatur

Andrée, K., Geologie des Meeresbodens. Leipzig 1920. — Cayeux, Contributions à l'étude micrographique des terrains sédimentaires. Mém. Soc. géol. du Nord IV, 2. — Grabau, A., Principles of Stratigraphy. New York 1913. Kap. IX—XVIII. — Walther, J., Lithogenesis der Gegenwart. Jena 1894. Das Gesetz der Wüstenbildung. S. 219—288.

49. Der Fazieswechsel

Eine pflanzengeographische Übersichtskarte faßt die Standorte der verschiedenen, gleichzeitig nebeneinanderliegenden Florengenossen in übersichtlicher Weise zusammen. Ihre Grenzen würden mit den klimatisch bedingten Bodenarten an der Oberfläche der Lithosphäre annähernd übereinstimmen, und ein Biologe, der die ursächlichen Zusammenhänge zwischen Lockerboden und Flora untersucht hätte, würde, selbst wenn ihm nur vereinzelte Teile der darauf lebenden Pflanzen bekannt wären, daraufhin imstande sein, aus diesen die ehemaligen Lebensbezirke zu ergründen, wenn er im Auge behält, daß manche durch Wind oder Wasser verbreiteten Pflanzenteile solche Grenzen nicht einhalten und von anderen, aber doch wieder gesetzmäßig bedingten Ursachen verteilt werden.

So werden auch die Lockermassen am Grunde des Meeres in ihrer lithologischen Eigenart von den äußeren natürlichen Umständen begrenzt und die Abhängigkeit der darin oder darauf lebenden Bodenwelt bedingt ähnliche Beziehungen zwischen Standort und Fauna.

Die Verfolgung dieser von vielen einzelnen Umständen polydynamisch bedingten klimatischen Umstände, ihre lithologische wie biologische Folge bilden den Inhalt einer ontologischen Betrachtung der heutigen Erdoberfläche.

Der kartierende Geologe ist freilich gewohnt, den rezenten bewachsenen Lockerboden mit anderen Augen zu studieren. Er sieht in ihm eigentlich nur die zermürbte Oberkante der anstehenden Gesteine oder eine darüber ausgebreitete bodenfremde Neubildung. Die darin wurzelnden Pflanzen erscheinen ihm als Verfestiger desselben oder als eine Begleiterscheinung der Verwitterung. Denn seine ganze Aufmerksamkeit ist auf die im Aufschluß erkennbaren, sich überlagernden Gesteine, die Bildungen einer uralten Vorzeit gerichtet. Sie zu unterscheiden, ihre Grenzen festzulegen, ihre Aufeinanderfolge zu gliedern, die darin eingeschlossenen Überreste fossiler Organismen aus dem Muttergestein herauszupräparieren und zu bestimmen, erscheint ihm als wichtigste Aufgabe.

Aber man darf nicht vergessen, daß die leblosen „Denkmünzen" jeder einzelnen sich überlagernden Periode einmal die Hartgebilde lebender beweglicher Wesen waren und daß das sie umhüllende harte Gestein weicher Lockerboden war, der an der festländischen oder wasserbedeckten Oberfläche der Erdrinde als jüngste Neubildung entstand, auf dem jene Wesen lebten, starben und eingehüllt wurden, bis sie nach langen Jahrmillionen unter dem Hammerschlag der Geologen wieder zutage treten.

Die Aufgabe der ontologischen Forschung besteht also darin: die heutige Erdoberfläche mit allen auf ihr lebenden Organismen und ihren Lockerungsböden nicht nur geographisch in der Fläche zu betrachten, sondern sich auch im optischen Querschnitt vorzustellen, um auf diesem Wege ein Hilfsmittel zu gewinnen, das uns befähigt, die Erscheinungen des geologischen Querschnitts durch einen beliebigen Teil der Erdrinde flächenhaft zu verfolgen.

Wir vergleichen also ein Raumbild und alle seine bestimmenden Umstände mit einem Zeitbild, damit wir die unbekannten Ursachen des letzteren verstehen lernen.

Aber weder das einzelne Fossil, noch das Fundstück des Gesteins vermag uns alle die grundlegenden Tatsachen zu bieten, welche wir bei dieser synthetisch aufbauenden Arbeit bedürfen. Das Fossil muß, wie wir in einem der nächsten Abschnitte zeigen wollen, in den Kreis seiner ehemaligen Lebensgenossen eingereiht werden, und das Gestein eröffnet uns nur dann alle seine lehrhaften Eigenschaften, wenn wir es im natürlichen Verband seiner Faziesgenossen untersuchen.

Die Gliederung der Profile ist ebenso, wie die systematische Bestimmung der eingeschlossenen Fossilien nur eine technische Methode, welche uns erlaubt, die natürlichen Einzelheiten zu trennen, Diagnosen zu formen und ein normales System aufzustellen. Damit sind aber auch in der Regel die Verwertungsmöglichkeiten dieses gesonderten

Tatsachenmaterials erschöpft. Mit Schichtengliederung und Leitfossilien kommt man zwar zu einer chronologischen Tabelle, aber niemals zu einer historischen Darstellung. Denn jedes solches System, mag man das Gleichzeitige flächenhaft oder das Nacheinandergebildete in der Gliederungstabelle vertikal übereinander sehen und abgrenzen, ordnet nur die Einzelheiten in formale Reihen, trennt das einst organisch Zusammengebildete und vereint das einander Fremde mit eisernem Zwang. Nur wenn wir biologisch denken und innerliche Wechselbeziehungen als das Band erkennen, das natürliche Einheiten schafft, können wir auch unsere Wissenschaft aus der bloßen Beschreibung zur Erklärung führen.

Daher dürfen wir die festländischen Böden und die marinen Sedimente nicht nur abgrenzen und ihr Nebeneinander schildern, sondern müssen auch ihre innere gegenseitige Abhängigkeit zu erkennen suchen.

Wenn man die Fazies als die Summe der Eigenschaften gleichzeitig gebildeter rezenter Ablagerungen oder fossiler Gesteine bezeichnen darf, so ergibt sich das Bedürfnis, die Wechselbeziehungen der unter denselben allgemeinen klimatischen Umständen gebildeten, sich ergänzenden Fazies als die Korrelation der Fazies zu bezeichnen. Aber Korrelation ist nicht so sehr ein räumliches Nebeneinander, sondern muß als ein ursächliches Miteinander erfaßt werden. Bunte Letten, Gips und Steinsalz sind grundverschiedene Gesteine, aber sie gehören zu einem innerlich verwandten Faziesgefolge, ebenso wie Blocklehm, Sand und Bänderton.

Fast alle Faziesgrenzen sind zwar scharf, aber doch beweglich, weil die lithogenetischen Bedingungen so mannigfaltige sind, daß das polydynamische Wechselspiel der klimatischen Grenzen beständig oszilliert. Die Gletscherzunge bewegt sich, das Ufer des Sees verlagert sich, die Sanddünen wandern, die Korallenriffe wachsen seitlich auf ihr Nachbargebiet und können ebenso leicht wieder verengt werden. Da es sich hierbei um zeitliche Vorgänge von kürzerer oder längerer Dauer handelt und jede einzelne Fazies in ihrer flächenhaften Verbreitung durch andere Teilursachen des allgemeinen Klimagebietes bestimmt wird, wächst jede Fazies normalerweise nicht mit gleichbleibenden seitlichen Grenzen wie ein Zylinder in die Höhe, sondern in einer unregelmäßig ausgezackten Fläche, die in zahllosen geologischen Profilen als Wechsellagerung bekannt ist. So zerlegt sich also das Übergangsgebiet in zahlreiche vor- und zurückgreifende Zungen. Von der Uferlinie, mit welcher das Meer an das Festland grenzt, bis zum Salzbecken oder dem Kohlenflöz, das zwischen anorganischen Trümmergesteinen eingeschaltet ist, beherrscht die Wechsellagerung jedes Grenzgebiet. Alle paläographischen Karten müssen bei ihren Grenzlinien dieser Tatsache Rechnung tragen.

Die stark überhöhten Profile, die von Vulkanen, Riffen, Uferböschungen und Untiefen gezeichnet werden, sind geeignet, den Irrtum

zu bestärken, daß die scheinbar so horizontale Schichtung im einzelnen Aufschluß nur auf einem absolut horizontalen Meeresgrunde entstanden sei. Allein sobald wir zwei benachbarte Profile sorgfältig Schicht um Schicht vergleichen, erkennen wir bald, wie rasch einzelne Leitschichten verschwinden und neue, bezeichnende Bänkchen in anderen Abständen übereinander erscheinen. Eine einfache Überlegung sagt uns, daß dies nur der Ausdruck für ein beständiges „Auskeilen" ist, daß jede aufgelagerte Gesteinsmasse, selbst wenn sie aus papierdünnen Blättern besteht, eine flache Linse darstellt und jede dieser feinen Schichten ebenfalls eine dünne Linse sein muß — daß also geringe, kaum merkliche Böschungen eine Schicht von der anderen abgrenzen, die der einstigen Oberfläche des neugebildeten Lockerbodens entspricht.

Von diesen pseudo-horizontalen Grenzflächen führen alle Übergänge zu der Übergußschichtung am Rande von Kalkriffen, zur diagonalen Dünenschichtung und der Kraterschichtung tätiger Vulkane.

Jede Klimaänderung verschiebt aber alle Faziesgrenzen in gleichsinniger Weise. Mag die Grenze des polaren Klimas durch eine Bewegung der Erdachse oder durch eine solare Änderung verlagert werden, mag der Wüstengürtel wandern, sich verbreitern oder verengen, mag das Meer aus seinen Ufern treten oder ein großer Endsee schrumpfen —, stets ändern sich harmonisch die Grenzen der in dem betreffenden Faziesgebiet gebildeten Lockermassen und Sedimente.

Sobald wir von diesem Standpunkt irgend eine geologisch aufgeschlossene Schichtenfolge betrachten und uns klarmachen, daß wir in ihr nicht nur eine räumliche Überlagerung vom Liegenden zum Hangenden, sondern eine Zeitfolge vor uns sehen, erscheint uns jeder Gesteinswechsel als ein historisch erfolgter Fazieswechsel und damit ursächlich bedingt als ein Klimawechsel.

Man hat immer wieder versucht, gesetzmäßige Regeln aus der Schichtenfolge herauszulesen und von einem wiederkehrenden Zyklus der Sedimentation gesprochen. Das Bedürfnis nach einem einfachen Idealprofil, geistreiche Kombination und korrigierende Ausschaltung der das einfache Schema störenden Ausnahmen hat hierbei Resultate ergeben, die um so einleuchtender erschienen, weil damit ein Hilfsmittel gewonnen wurde, das ohne tieferes Nachdenken die große Fülle der Einzelheiten zu übersehen erlaubt.

Aber es ergibt eine falsche Kausalität, wenn man das dichterische Bild der wiederkehrenden Jahreszeiten oder des organischen Blühens und Alterns auf natürliche Folgereihen überträgt. Denn wenn jedes Ereignis von dem vorhergehenden Zustand bedingt ist und einen anderen Folgezustand notwendig verursacht, kann es niemals zu einer Rückkehr früherer Umstände kommen. Dieses allgemeine und elementare Gesetz der irreversiblen Folge, das Dollo aus der organischen Entwicklung

abgeleitet hat, gilt in derselben Weise auch für jede anorganische, historische Kausalreihe.

Jeder Gesteinswechsel ist also bedingt durch ein Wandern der Faziesgrenzen, und da sich nur solche Fazies in zeitlicher Folge überlagern können, die räumlich nebeneinander entstanden sind, wird die Gesteinsfolge zum Ausdruck der lithologischen Gesteinsverwandtschaft. Das örtlich am meisten verbreitete Gestein, das wir als „Hauptgestein“ bezeichnen, ist keineswegs überall in größter Masse gebildet worden, und ein „Nebengestein“ kann in einem anderen Teile desselben Faziesgebietes zum dominierenden Hauptgestein werden — aber das Gesteinsgefolge wird durch seine mannigfaltigen Glieder stets die Einheit des Faziesgebietes erkennen lassen.

Es gibt auch keineswegs eine Gesetzmäßigkeit in der Korngröße der aufeinanderfolgenden Fazies desselben Faziesgebietes; weil die dort herrschenden Transportkräfte oft wechseln und besonders leicht auch ihre Richtung verändern, so daß selbst die nacheinander gebildeten Gesteine nicht immer übereinander, sondern ebensowohl nebeneinander abgelagert werden.

Wenn wir hier noch an die von J. Weigelt eingehend untersuchte mechanische Zerlegung von gemischten Sedimenten und Lebensgenossen im Wellenbereich des Küstensaumes und aller Untiefen denken, wodurch eine weitergehende Schichtengliederung bedingt wird, dann erscheint es uns noch unmöglicher, das Schema eines Zyklus auf so verwickelte Vorgänge anzuwenden.

Graue Theorie hat ein Schema der Gesteinsfolge festgestellt, mit dem transgredierende Schichten eine ältere abgetragene Landfläche diskordant überlagern sollen: das aktiv vorschreitende Meer soll zunächst mit seiner zerstörenden Brandung ein grobes Grundkonglomerat schaffen, darüber feinkörnige Sandmassen lagern, und endlich tonige oder kalkige küstenferne sog. pelagische Ablagerungen darauf schichten.

Diesem völlig hypothetischen Schema zuliebe bezeichnet man eine scharfkantige Bresche als „Zechsteinkonglomerat“, paralellisiert mit diesem einen weißen Sandstein (das Weißliegende) und allerlei andere Gesteine, die weder Zechstein noch Konglomerat sind, und kommt dann zu dem Ergebnis, diese verschiedenen Ablagerungen als das „Grundkonglomerat“ des eindringenden Zechsteinmeeres zusammenzufassen, obwohl die Beobachtung im Aufschluß lehrt, daß Riffkalk, geschichtete Letten, lockere Dünensande und die vom Wind gewetzten Gerölle des oberen Rotliegenden diese verschiedenen Faziesgebilde erzeugten.

Es gibt allerdings bei manchen lithogenetischen Vorgängen gewisse Gesetzmäßigkeiten, die an den vielbesprochenen Zyklus der Sedimentation anklingen, ohne daß man sie aber als eine rhythmisch geschlossene, zum Ausgangspunkt zurückkehrende Folge betrachten dürfte.

Ich rechne hierher besonders die Umkehr der Sedimentfolge. Denken wir uns die Kette eines Faltenlandes, von Granitstöcken injiziert und mit roten lateritischen Verwitterungsdecken überzogen, dann werden daraus in den zu der Abtragungsregion gehörenden Auflagerungsbecken folgende Gesteinsarten nacheinander entstehen müssen:

1. Rote Letten mit unzersetzten Schieferstücken,
2. Rote tonreiche Konglomerate aus dem Schutt des Gebirges,
3. Konglomerate ohne rotes Bindemittel, aber mit Kontaktgesteinen, Pegmatittrümmern und Granitgeröllen,
4. Quarzsandsteine.

Aber wenn man die mächtigen Gesteinsmassen betrachtet, die aus dem abgetragenen Schutt der varistischen Gebirgskette während der Oberkarbon-, Perm- und Triaszeit entstanden sind, dann wird man zwar in dem deutschen Steinkohlenbecken vorwiegend graue, im Rotliegenden rote Konglomerate und Sandsteine, endlich in der Untertrias rote Letten und Sandsteine in gewaltigen Sammelbecken aufgehäuft sehen, aber die organische Bildung der Kohlenflöze und die chemischen Niederschläge des oberen Zechsteins bringen so völlig neue unerwartete Züge in das Bild der Gesteinsfolge, daß auch hier ein zyklisch deutbares Schema ganz unmöglich wird.

Ich habe auf meinen Reisen gerade die Küstenländer aller Breiten daraufhin untersucht, welche Schichtenfolge ein transgredierendes Meer hier und dort hinterlassen hat oder hinterlassen würde, und sehe mich außerstande, auch nur ein allgemeines Schema davon zu geben. Nirgends ist die Mannigfaltigkeit der gleichzeitig gebildeten Fazies größer als im Litoralgebiet, und daraus ergibt sich die Vielgestaltigkeit der sich hier überlagernden Ablagerungen.

Ebenso wie sich die Wasserscheiden verlagern und damit das hydrographische System der Erosion verändern, verschieben sich die Grenzen der sandbewegenden Winde und die Richtung der aus einem Firngebiet hervordringenden Eiszungen. Gleichzeitig ändert sich die Lage der Sammelmulden, in denen jene Transportkräfte ihre Last niederlegen — hier kann man nur durch methodische Beobachtung der letzteren die Mündungsgebiete der alten Talsysteme, die Grenzen der Sandwüsten und die Blockwälle der Eisdecken verfolgen, aber kein „Zyklus“ enthüllt uns die die Gesetze, mit denen sich solche Massen überlagern.

Die Bildungsweise der Gesteinstypen, die wir im Abschnitt 3 unterschieden haben, läßt allerdings gewisse gemeinsame Züge erkennen, welche bei der Beurteilung einer mächtigen Schichtenfolge erwogen werden müssen:

Die vom Wasser bewegten aufgelagerten Trümmergesteine und Niederschläge sind meist auf einem längeren Transportwege vom Ort ihrer Bildung nach dem ihrer Ablagerung getragen worden. Gerölle und Flußsand, Schlamm und Lösungen entstanden in einem gewissen

seitlichen Abstand von dem Becken, wo sie sich übereinanderschichten, und dieses liegt in der Regel topographisch tiefer.

Auch die vom Wind getragenen Sande wurden seitlich umgelagert und können einen langen Weg durchmessen haben, ehe sie abgelagert wurden, aber sie sind weniger abhängig von der Schwere, können Wasserscheiden und Bergzüge spielend überschreiten und häufen sich nur da an, wo Gegenwinde ihrem Weiterwandern ein Ziel setzen oder Wasserflächen und Vegetationsdecken sie binden.

Die aufgelagerten organischen Gesteine, besonders Kohlen und Kalke, sind meist bodenständig und unterscheiden sich von allen vorhergenannten dadurch, daß der Bildungsort ihres Materials und dessen Aufschichtung an dieselbe Stelle gebunden ist. Sie wachsen oft unbegrenzt über ihre Auflagerungsfläche hinaus und erreichen große Mächtigkeit, ohne daß ein natürliches Gefälle jene beiden Gebiete verbindet. Denn überall finden sie Luft und Wasser, aus denen sie ihre unverweslichen Hartgebilde erzeugen.

Auch die aufgelagerten Magmagesteine werden meist bodenständig gebildet und ein enger Vulkanschlot reicht aus, um hohe Kraterberge darüber aufzubauen. Selbst die Lavadecken greifen nicht so weit über das Nachbargebiet hinweg, wie wir das von einer Sandmasse oder einer Moräne gewöhnt sind.

Aber fast unabhängig von Schwere und Geländegestalt ist eine letzte, gerade wegen ihrer universellen Verbreitung wenig beachtete Gesteinsart, die aber eine ganz besondere Darstellung hier verdient, nämlich die Tongesteine. Es ist schwer, einen treffenden gemeinsamen Ausdruck zu finden für die feinen staubartigen, meist kolloidal-kleinen Trümmer von allen denkbaren irdischen Massen, die in einer nicht erkennbaren, unüberschaubaren Mannigfaltigkeit miteinander gemischt in der Atmosphäre enthalten sind und die hier als Lufttrübe bezeichnet werden mögen. Kosmischer Eisenstaub, Wüstenstaub, vulkanische Feinasche, zerstäubtes Seesalz und Gips, zerfallene Blätter und andere organische Teilchen, gemischt mit dem durch Auswitterung und Deflation von jedem anstehenden Gestein abgewehten feinsten Teilchen, mischen sich innerhalb der stets bewegten Lufthülle, steigen, durch Sonnenwärme emporgetragen, bis zu den höchsten Schichten der Atmosphäre und kreisen (wie uns der Weg der afrikanischen Staubfälle von 1901 und 1903 oder die von der vulkanischen Krakatauasche erzeugten Dämmerungserscheinungen des Jahres 1884 lehrten) in Schraubenwindungen polwärts empor oder breiten sich in gewaltigen Staubwolken über ungeheure Flächen des Landes wie des Meeres. Soweit der Himmel blau erscheint, reicht die feine Verteilung der Lufttrübe und jedes kleine Nebeltröpfchen kondensiert sich um einen kleinen Staubkern, so daß jeder fallende Regentropfen und jede Schneeflocke eine große Anzahl solcher Stäub-

chen enthält. Auf frischgeputzten Fensterscheiben bleiben gelbe Flecken zurück, ein kurzer Regenguß, den ich bei Assuan erlebte, brachte eine wägbare Menge von Wüstenstaub mit herab, Blutregen beobachtet man oft im Mittelmeergebiet, und selbst in der eisigen Tundra von Ostsibirien beobachtete PFIZENMEYER gelbe Schneewolken, mit denen solche Mengen von Staub herabfielen, daß die Kleider ganz lehmig wurden.

Dieser Luftstaub bedeckt den nackten Felsboden der Wüste ebenso wie die Blätter der Pflanzen; dort bläst ihn der Wind fort, hier wäscht ihn der Regen ab, und dessen anfangs klares Wasser trübt sich rasch, sobald sich die Rinnsale vereinigen. So entsteht die Flußtrübe aus der Lufttrübe, und nun mischt sich das äolische Produkt mit der Fracht des fließenden Wassers, dessen Sande und Kiese am Boden entlanggetragen werden, während der Luftstaub das wirbelnde Hochwasser erfüllt. Auelehm und Deltaschlamm sind zum größten Teil solche äolisch ausgeblasenen und in der Atmosphäre gleichkörnig gewordenen feinstaubigen Verwitterungsmassen.

In Salzwüsten schichten periodische Regengüsse den gelben, grauen oder roten Staub zu mächtigen Lettenschichten, deren vom Salzgehalt hygroskopische Oberfläche nach trockenen Staubwinden wie gepudert erscheint, weil neuer Staub auf ihr festklebte. Von wachsenden Moorlagern, die kein fließendes Gewässer mit Schlamm oder Sandschichten übergießen kann, wird doch die Lufttrübe festgehalten und bildet aschenreichere Kohlenschichten, und selbst der Schnee des Hochgebirges enthält große Mengen von Staub, die uns teilweise in dem trüben Gletscherbach wieder entgegentreten.

Noch viel wichtiger aber ist der fallende Staub auf allen Wasserflächen. Der Passatstaub des Atlantik ist nur ein literarisch bekannteres Beispiel für die zahllosen, nur dem Seefahrer gewohnten Staubfälle, die auch auf offenem Meer ein tägliches Reinigen des Schiffes nötig machen, weil sein Deck und seine Segel immer wieder ebenso verstauben wie die Möbel in einem geschlossenen Zimmer oder die Gegenstände in den hermetisch abgeschlossenen Glasschränken einer Sammlung.

Ich kenne keine rezente Ablagerung, von den Kalkdünen der tropischen Korallenriffe bis zum roten Ton der Tiefsee, bei deren Bildung nicht äolischer Staub als wichtige Komponente beteiligt wäre, und bin der Überzeugung, daß alle feinkörnigen Tongesteine, mögen sie marine Fossilien enthalten oder als feiner Besteg mächtige Kalkbänke schichten, als auskeilende Tonschicht Sandsteinbänke trennen, als wohlgeschichtete oder geschieferte rote, gelbe oder graue Schiefertone und Tonschiefer auftreten, äolisch entstanden, in der Atmosphäre gemischt und je nach Klima und Faziesgebiet in unübersehbarer lithologischer Mannigfaltigkeit wieder abgelagert worden sind.

Sie spielen als Lößlager auf dem Festlande dieselbe Rolle wie als Meeresschlamm in Delta und Flachsee, bedecken die Flächen der Gebirgstäler ebenso wie den Boden der Tiefsee und sind immer und überall autochthon aufgelagert worden, obwohl das ruhelose Luftmeer ihre Heimat ist.

Dieses feinpulverige Tongestein, bald aus Quarzsplittern, bald aus eisenreichem Lateritstaub, bald aus zerfallenen Pflanzengeweben entstanden, ist die einzige universelle Fazies der Gegenwart, der alle anderen Ablagerungsmassen eingelagert sind, und hat in allen früheren Perioden diese im eigentlichen Sinne verbindende lithologische Bedeutung gehabt. Anstatt den Aschengehalt der Kohle, den Lösungsrückstand des Salzes, den unlöslichen Teil des Kalkes als einen akzessorischen Nebenbestandteil anzusehen, sollte man in diesen Elementen das Gemeinsame erblicken, das alle anderen lithogenetischen Vorgänge begleitet und das immer wieder auftritt, wo das einheitliche Gestein durch eine Schichtenfuge zerlegt wird oder wo deutliche Stufen im Aufbau der Profile ausgeschieden werden können.

Diesem toten Plankton der Luft (Aeroplankton) sind aber zahllose lebende Keime beigemischt. Ehrenberg hat schon im vorigen Jahrhundert die zahllosen Kleinwesen untersucht, die im Luftstaub enthalten sind, und die moderne Medizin hat gezeigt, wie ganze Kontinente von Epidemien heimgesucht werden, deren Erreger, in der Lufttrübe enthalten, um die Erde kreisen. Wenn wir diesen Gedanken auf den Ozean übertragen, dann erscheint uns auch das Plankton des Wassers (Hydroplankton) nur als eine Komponente der allgemeinen Wassertrübe, die aus anorganischen und organischen feinsten Teilchen in wechselndem Verhältnis gemischt ist. Die Globigerinen der tropischen Meere, die Radiolarien der größeren Tiefen und die Diatomeen der Polargürtel sind doch nur ein Teil des universell verbreiteten feinen Pulvers, das sich durch die Asche submariner Vulkane zu Vulkanschlamm, durch die aus Korallenriffen angeschwemmten Kalkteilchen zu Kalkschlamm, durch lateritische Staubfälle zu rotem Tiefseeton und aus feinem Luftstaub zu kontinentalem Flachseeschlamm verwandelt.

Während aber die Lufttrübe auf dem Festlande durch das Klima in breite Bänder von Bleicherde, Braunerde oder Roterde verwandelt wird, die uns ermöglichen, uralte Klimagürtel paläographisch festzulegen, wird die zum Meeresboden langsam herabsinkende Wassertrübe von den dort herrschenden chemischen Zuständen des Wassers beeinflußt. Hier kennen wir keine nach Breitengraden geordneten Klimagürtel, sondern Tiefe und Wasserbewegung bestimmen die Umsetzungsvorgänge, die aus Braunerde und Gelberde hier blauen Flachseeschlamm, dort Grünschlamm oder Grauschlamm erzeugen und nur unter den eintönigen Zuständen

der größten Tiefen den lateritischen Staub als roten Tiefseeton konservieren.

So bildet der luftgeborene Staub von den in dem Gneis des Erzgebirges eingelagerten Phylliten, durch einen Schichtenstoß von 25000 m bis zum postdiluvialen Löß und der rezenten Ackerkrume, ein immer wieder niedergeschlagenes buntfarbiges Zwischensediment, das wie die Notenlinien, auf denen die Töne einer großen Symphonie emporsteigen, uns die Zeitalter und die Formationen, die Glieder und Stufen, die Jahresringe der Salzlager, wie die Bildungsjahre der Bändertone zu trennen erlaubt und uns ermöglicht, die ungeheure Mächtigkeit der Schichtenfolge wissenschaftlich zu beurteilen.

Meist fossilleer, aber versteinerungsreiche Schichtenflächen verhüllend, oder selbst als das feinste Erhaltungsmittel für Volborthella im algonkischen Blauton, für die zarten Urkrebse, die Walcott im Kambrium entdeckte, oder die zierlichen verkiesten Fische und Echinodermen von Bundenbach, die Liasinsekten der Schambeln, die noch heute perlmutterglänzenden Cephalopodenschalen des Opalinustones oder die Fische im Dachschiefer von Elm, die Säugetiere von Quercy und die Flora von Öningen, sind alle diese vielfarbigen Tongesteine meist von ermüdender lithologischer Eintönigkeit, aber doch von höchster Bedeutung.

Zwischen diesen vielfarbigen und vielveränderten Lettenschichten sind die groben Konglomeratgneise und die Buntwacken, die Geröllsteine und Sandsteine, die Schalsteine und Diabase, die Kohlen und die Kalke, die Grauwacken und Salzlager eingeschaltet und wachsen zu solchen Mächtigkeiten heran, daß 25000 m nacheinander gebildeter Gesteine übereinandergelagert dem Zeitraum entsprechen, innerhalb dessen das vielgestaltige lebendige Molekül immer neue Arten bildete, neue Floren und Faunen hervorbrachte.

So sind die Tongesteine die eigentlichen Grundgesteine der geologischen Schichtenfolge und jede eingeschaltete Kalklinse, Sandsteinbank oder vulkanische Aschenschicht entspricht einem Fazieswechsel, bedingt durch eine Änderung der an dem betreffenden Ort lithogenetisch wirksamen klimatischen Faktoren, und damit auch einer Änderung der Umwelt der dort lebenden Organismen.

Der tiefgreifendste Fazieswechsel beruht nicht so sehr auf dem Gegensatz von Festland und Meeresboden als auf dem von Abtragung und Auflagerung. Es ist richtig, daß jene auf trockenem Boden, diese meist am Grunde der Wasserbecken vorherrscht, aber die Ontologie lehrt uns, daß große Gebiete des Festlandes lithogenetisch nur mit einem großen Meer verglichen werden können. Die schwankende Wasserscheide, die ein abflußloses Wüstenland umzieht, beherrscht die darin sich abspielenden Vorgänge der Gesteinsbildung in genau derselben Weise

wie die Uferlinie eines Meeres die sich in dessen Wasserbecken vollziehenden lithogenetischen Prozesse.

Aber auch die Entstehung von Ablagerungen im Unterlauf großer Flüsse ist eine festländische Erscheinung. Man bedenke, daß die Eintiefung der bengalischen Tiefebene ein Gebiet von 300 km Breite und 1000 km Länge mit feinschlammigen, wohlgeschichteten Sedimenten in einer Mächtigkeit von 150 m bedeckt. Sein Außenrand wird in den vielgestaltigen Rinnen der Sunderbunds vom Meere bedeckt, eine Menge mariner Drift gelangt bei Flut stromaufwärts in alle Kanäle und wird von der Mangrove überall festgehalten, marine Haifische und Delphine jagen im Mittellauf des Ganges die zahlreichen Süßwasserfische, Muscheln bedecken den Schlammboden, verwesende Sumpfpflanzen schalten sich als Torflager zwischen die horizontal geschichteten Deltaablagerungen, Tapir und Nashorn, Tiger und Elephant verenden im dichten Djungel und der Wind formt kleine Dünen mit ausgezeichneter Kreuzschichtung mitten zwischen den vielartigen Sedimenten. Im Nordwesten aber tritt der Indus in wechsellagernde Berührung mit den Sanddünen der Wüste Tharr, lagert seinen Schlamm über phantastisch verwitternde Wüstenfelsen und wechsellagert mit den Salztonen des Ran bei Kutsch, der im trockenen Sommer eine salzbedeckte Fläche bildet, an die sich im Süden die normalen Meeressedimente angliedern.

Jede kleine Änderung der klimatischen Faktoren muß diese Fülle von lithogenetischen Faziesgrenzen verschieben, überall Wechsellagerung erzeugen und im endgültigen Schichtprofil dieselben Ablagerungen übereinanderlegen, die wir heute nur nebeneinander finden.

Aber nicht nur die abflußlose Wüste schafft neue festländische Gesteine, auch die dazwischen verteilten Vulkane mit ihren Aschenkegeln, die Sümpfe der Niederungen und die Gletscher der Höhen bilden solche Massen, die mit den Ablagerungen eines marinen Wasserbeckens verglichen werden müssen.

Mögen wir Gesteine von verschiedenem Faziescharakter in konkordanter oder diskordanter Folge übereinandergebaut sehen, stets muß es unsere erste Aufgabe sein, das Medium und Klima ihres Bildungsraumes unabhängig von ihrem Fossilgehalt zu bestimmen. Die zwischen den Gesteinen auftretenden Schichtenfugen geben uns Hinweise auf die Geländegestalt und die horizontale Verbreitung der einzelnen Fazies umgrenzt den Bildungsraum.

Wenn wir so jede einzelne aufgelagerte Gesteinsmasse für sich betrachten, ihre korrelative Beziehung zu gleichalterigen Bildungen anderer Fazies feststellen und jedes einzelne der im Profil sich überlagernden Gesteine vom Liegenden zum Hangenden lithogenetisch erklärt haben, dann gestaltet sich uns der äußere Hintergrund für die biologischen Vorgänge, die sich darauf abgespielt haben.

Jedes Profil lehrt uns nun, daß in beständigem Wechsel Gesteine von verschiedenem Gewebe und Gefüge und bald kleiner, bald großer Mächtigkeit übereinanderliegen.

Die Mächtigkeit eines einheitlich durch Auflagerung entstandenen Gesteins ist der Ausdruck dafür, daß eine längere Zeit hindurch dasselbe Gesteinsmaterial zur Ablagerung kam, und damit treten zwei grundverschiedene Fragen an uns heran. Denn es muß die Zufuhr des Gesteins ununterbrochen gewesen sein, und im Bildungsraum müssen die lithogenetischen, d. h. klimatischen Umstände unveränderlich geherrscht haben.

Die Zufuhr des Gesteinsmaterials verwandelt sich bei anorganischen Trümmergesteinen in eine Frage der vorhergehenden Speicherung; bei vulkanischen Trümmermassen in ein Problem der Eruptionsfolge. Wenn dagegen der Salzgehalt einer weitverbreiteten Lösung örtlich chemische Niederschläge erzeugte, treten klimatische Fragen vor uns auf, und wenn es sich um organische Trümmergesteine handelt, gewinnen biologisch-physiologische Bedingungen maßgebende Bedeutung.

Die ungeheure Mannigfaltigkeit der sich in zahllosen Aufschlüssen überlagernden Schichtgesteine, deren Mischung aus diesen verschiedenen Elementen jedem Geologen wohlbekannt ist, öffnet uns aber den Einblick in eine so unübersehbare Vielheit von Bedingungen, daß wir immer nur den kleinsten Teil derselben erfassen und ergründen werden.

Selten in allmählichem Übergang, meist durch Wechsellagerung verbunden, folgen sich Trümmergesteine, Niederschläge und Magmagesteine, und jeder Gesteinswechsel ist ein Fazieswechsel, jeder Fazieswechsel erscheint uns als Klimawechsel. Leitgesteine, bedingt durch das gelegentliche Zusammentreten ganz verschiedener, zeitlich und örtlich bedingter Ursachen, wechseln mit Dauergesteinen, die in allen Perioden mit nahezu denselben Eigenschaften, also unter leicht wiederkehrenden lithogenetischen Bedingungen, entstanden sind. Hauptgesteine, von einem Schichtgefolge von Nebengesteinen umgeben, beherrschen die eine Gegend, und in einem fernen Gebiet wird das Nebengestein zur dominierenden Masse, ohne daß die anderen korrelativ damit verbundenen Gesteine völlig fehlten.

Hier das Übereinstimmende zu finden, die wechselnde Mächtigkeit und Verbreitung der ursächlich verwandten Gesteine zu verfolgen und jede Gesteinsfolge als eine genetisch bedingte Faziesfolge zu betrachten, muß die Aufgabe jedes im Felde arbeitenden Geologen werden. Hier muß die bisher vorwiegend trennende, d. h. gliedernde Arbeit ergänzt und vertieft werden durch diejenige Betrachtung, die wir als vergleichende Lithologie bezeichnet haben. Sie erhebt sich, wie die vergleichende Anatomie, über eine bloß sondernde Analyse, schafft neue

Werturteile, läßt die Genesis der Gesteine über die systematische Trennung derselben herrschen und knüpft neue Fäden der Erkenntnis über die verwirrende Mannigfaltigkeit der Einzelheiten.

50. Paläographische Karten

Fast in jedem Aufschluß sehen wir mehrere, nach Härte, Farbe, Gewebe und Gefüge verschiedene Gesteinsmassen übereinanderliegen, und indem wir uns klar werden, daß das Liegende in der Regel früher gebildet sein muß, wie das Hangende, kommen wir dazu, die Schichtenfolge als eine Zeitfolge zu betrachten.

Wenn wir nun größere Schichtenreihen vergleichend untersuchen und die in ihnen eingeschlossenen Fossilien sammeln, gewinnen wir nicht nur ein Bild der Aufeinanderfolge der Arten, sondern auch ein bequemes Hilfsmittel, um mit Hilfe leitender Formen das relative Alter einer aus dem fortlaufenden Gesteinsverband herausgelösten Gesteinsmasse zu bestimmen. Alle diese Betrachtungen streben nur nach dem einen Ziel, den Aufbau eines gegebenen Stückes Erdrinde in verschiedene Zeitabschnitte zu zerlegen.

Auch jede geologische Karte ist eine vielzeitliche polychrone Darstellung und trennt mit ihren verschiedenen Signaturen die zeitlich nacheinander entstandenen Bildungen. Selbst die Anordnung der Farbenzeichen in der Legende folgt diesen chronologischen Grundsätzen, und auch die Beschreibung der auf einem Kartenblatt dargestellten Gesteine, Störungen und Fossillisten wird zu einer historischen Schilderung.

So wird es demjenigen, der eine geologische Karte lesen kann, nicht schwer, aus ihr auch eine Darstellung der erdgeschichtlichen Entwicklung des betreffenden Kartengebietes zu gewinnen.

Ganz andere Aufgaben treten an uns heran, wenn wir nicht die historische Aufeinanderfolge der Wirkungen langer Zeiträume, sondern die Zustände eines kürzeren Zeitabschnittes paläographisch schildern und darstellen wollen. Dann wird die Zerlegung und Gliederung einer fortlaufenden Schichtenfolge nicht Endziel, sondern Voraussetzung unserer Arbeit. Erst wenn die in einem größeren Gebiet gleichzeitig entstandenen Gesteine und gleichzeitig lebenden Fossilien als gleichalterig erkannt worden sind und wenn deren Äquivalenz völlig gesichert ist, können wir eine solche paläographische Arbeit unternehmen.

Man betrachtet es als eine verhältnismäßig einfache Aufgabe, die wörtliche Beschreibung dieser gleichalterigen Erscheinungen durch eine paläographische Karte zu erläutern, welche nach Art unserer geographischen Darstellung der rezenten Erdoberfläche die Zustände eines früheren Zeitabschnittes uns übersichtlich vor Augen führt.

Ich selbst habe Jahrzehnte lang solche Karten entworfen und ganze Serien in allen Maßstäben gezeichnet. Als Unterlage für meine ersten Skizzen dienten mir kleine Umrißkärtchen von Deutschland (1:6 Mill.), Europa (1:10 Mill.) und der Welt (1:20 Mill.). Dann versuchte ich genauere lithologische, faunistische und floristische Darstellungen in größerem Maßstab, und begann endlich einzelne genauer bekannte Gebiete auf größeren Wandkarten von Deutschland, Europa und der Welt auszuführen.

Um Klimazonen und Ablagerungsräume in flächentreuer Projektion darstellen zu können, ließ ich mir das Gradnetz und die Umrisse eines größeren Globus von D. Reimer abdrucken, das durch Ausschneiden der meridionalen Streifen und Zusammenhänge um das Globusmodell gute Übersichten ergab; endlich diente mir ein achsenloser Globus, auf dem sich ein Drahtmodell der Klimagürtel leicht verschieben ließ, zur allgemeinen Orientierung über die jeweilige Lage der Erdpole.

Wenn ich mich trotz dieser, durch lange Jahre fortgesetzten paläographischen Studien nicht entschließen konnte, selbst nur eine Kartenreihe von Deutschland oder von Thüringen zu veröffentlichen, so liegt dies daran, daß ich bei diesen Arbeiten die Unmöglichkeit erkannt habe, auf Grund des heute vorliegenden Tatsachenmaterials auch nur die allgemeinsten paläographischen Erscheinungen zur Darstellung zu bringen.

Es erscheint sehr verlockend, etwa auf der vom Internationalen Geologenkongreß herausgegebenen Karte von Europa alle tertiären Gesteine abzudecken und die mit dem Grün der „Kreideperiode" bezeichneten Flächen zu einer Darstellung der „Grenze des Kreidemeeres" zu benutzen. Aber wer sich klargemacht hat, daß eine solche Übersichtskarte ein abstraktes Schema darstellt, dessen Farben und Grenzen in verschiedenen Ländern Europas eine verschiedene chronologische Bedeutung haben, der wird verstehen, daß damit keine Grundlage für eine so ganz anders geartete Aufgabe gegeben ist.

Die meisten paläographischen Karten zeichnen in erster Linie die Grenze zwischen Meer und Festland ein; andere ergänzen diese Darstellung durch eine Anzahl Flüsse; vereinzelte fügen hierzu noch einige größere Seen. Es sind also vorwiegend hydrographische Erscheinungen, die man darstellt. Aber diese Meere werden nicht nach ihren Gesteinen, sondern nach der Verbreitung von gewissen Leitfossilien umgrenzt. Die verschiedene systematische Zusammensetzung der Faunen wird hierbei als Ausdruck topographisch getrennter Meeresbecken behandelt, und wenn dasselbe Leitfossil an einem entfernten isolierten Fundpunkt gefunden worden ist, dann zieht man eine geradufrige Meeresstraße dahin, unbekümmert um das Fehlen aller verbindenden Fundorte. Geographisch umgrenzbare Verbreitungsgebiete von marinen Leitfossilien werden als klimatische Zonen eingeordnet, selbst wenn es sich um leere Ammo-

nitenschalen handelt, die durch Meeresströmungen passiv getragen wurden, und indem man Geosynklinalen, Transgressionen und Faziesunterschiede auf Grund von Fossillisten konstruiert, entsteht ein verwickeltes Bild von Irrtümern und unbewiesenen Hypothesen, das einen grellen Gegensatz zu der wissenschaftlichen Sorgfalt bildet, mit der vielleicht derselbe Autor Fossilien bestimmt und Schichtenfolgen zu gliedern gewohnt ist.

Bevor wir beginnen, eine paläographische Karte zu entwerfen, muß die Vorfrage entschieden werden, für einen wie großen Zeitabschnitt der geologischen Vergangenheit eine solche Karte gelten soll. Wir wissen, daß die Grenze des Meeres, wie die Gestalt aller Geländeformen und die Verbreitung der darauf lebenden Organismen einem beständigen Wechsel unterworfen ist; und zwar ändert sich die geologische Umwelt einer Fauna bald rascher, bald bleibt sie längere Zeit konstant.

Da uns ein chronologisches Zeitmaß für geologische Zeiträume fehlt, sind wir darauf angewiesen, räumliche Dimensionen, als die Wirkung zeitlicher Vorgänge, zu benutzen, und hierbei kann nur eine einheitlich aufgelagerte Gesteinsmasse oder die regelmäßige Wiederkehr wechsellagernder Schichten als Grundlage dienen.

Denn wer alle auf einer geologischen Übersichtskarte mit derselben violetten Triasfarbe bezeichnete Flächen als die ehemalige Verbreitung eines „Triasmeeres“ eintragen wollte und dabei die grundsätzlich so verschiedenartigen Bildungsumstände des Buntsandsteins, des Muschelkalks und des Keupers vernachlässigte, wird ein wertloses Bild zeichnen. Selbst wenn man den unteren und mittleren Buntsandstein als festländische Bildung zusammenfaßt, wird eine Karte, die das marine Röt als „oberen Buntsandstein“ mit zu jenen Flächen rechnet, ein Trugbild ergeben.

Eine Karte des „Muschelkalkmeeres“ wird mit ähnlichen Schwierigkeiten zu kämpfen haben; denn die Versalzung während der mittleren Muschelkalkzeit, welche dessen vorher einheitliche Fläche in mehrere, von halbtrockenen Salztonflächen getrennte Salzpfannen zerlegte, zwischen denen die Dünenzüge der Schaumkalkbänke auftauchten, verlangt statt einer, drei verschiedene Darstellungen desselben Triasbeckens.

Die stratigraphischen Grenzen auf unseren geologischen Karten sind in der Regel nach technischen und nicht nach genetischen Gesichtspunkten gezogen und können daher auch nicht als Unterlage für paläographische Darstellungen verwendet werden.

So bedingt jede paläographische Karte, die auf wissenschaftlichen Wert Anspruch macht, eine ganz eigenartige Einstellung auf gesonderte Bildungsräume und Bildungszeiten.

Die absolute Mächtigkeit einer einheitlich gebauten Schichtenfolge wird dabei keine Rolle spielen, denn der nur 50 cm mächtige Kupferschiefer muß von dem 350 m hohen Salzprofil des mittleren und oberen Zechsteins als besondere gleichwertige Bildungszeit unterschieden werden.

Je kürzer der Zeitraum gewählt wird, den man paläographisch darzustellen versucht, desto besser kann eine solche Karte werden, je weitere Grenzen man sich zeitlich steckt, desto verschwommener wird die Darstellung.

Man muß sich zunächst darüber klar sein, was eine paläographische Karte überhaupt darstellen kann und welche methodischen Grenzen ihrer Arbeit gesteckt sind.

Eine ontologische geographische Karte der Gegenwart stellt vorwiegend unorganische Erscheinungen dar und trägt die Verbreitung der biologisch oder wirtschaftlich wichtigen Organismen erst nachträglich in diese Darstellungen ein. So dürfen wir auch bei paläographischen Karten nicht den umgekehrten Weg einschlagen und nur die Fossilien aus der Umwelt ergründen, sondern müssen die früheren Zustände der Erde zunächst abiologisch festlegen. Nicht das vereinzelte Leitfossil, sondern die korrelativ zusammenhängenden lithologischen Erscheinungen, wie sie uns die Gesteine überliefern, müssen die Grundlage einer solchen Arbeit bilden.

Unser Weg geht vom Einzelnen zur Übersicht, nicht umgekehrt; und ein sorgfältig paläographisch untersuchtes Meßtischblatt erscheint uns wissenschaftlich wertvoller, wie eine paläographische „Weltkarte".

Ausgeschlossen von jeder paläographischen Darstellung sind:

1. alle tieferen Meeresbecken (also $^2/_3$ der heutigen Erdoberfläche). Wer einmal den Versuch gemacht hat, die Nordgrenzen des norddeutschen Zechsteins, Muschelkalks oder der einzelnen tertiären Meeresbuchten paläographisch zu zeichnen, oder wer selbst nur die tertiäre Geschichte des Mittelmeeres untersucht hat, wird es für ein abenteuerliches Unternehmen halten, den Boden des Atlantik in irgend eine paläographische Darstellung einzubeziehen;
2. alle gefalteten und überschobenen Gebirge, weil wir kein Mittel haben, um die vorherige Ausdehnung und Lage der gestörten Gesteinsmassen zu bestimmen; ich halte es z. B. für ganz ausgeschlossen, eine Karte des Devonmeeres in Deutschland zu entwerfen, denn seine Sedimente sind heute auf die Hälfte ihrer ursprünglichen Verbreitung zusammengefaltet und niemand vermag zu entscheiden, ob diese Stücke einstmals mehr nach Norden oder mehr nach Süden ausgebreitet waren. Erst mit dem Oberkarbon beginnt in Deutschland die Möglichkeit einer paläographischen Darstellung;
3. alle metamorph vergneisten Gebiete vor dem Zeitraum, in dem die Metamorphose erfolgte, weil deren Gesteine die einstigen lithologischen Eigenschaften nebst ihrem Fossilgehalt verloren haben.

Wir setzen voraus, daß die Gleichalterigkeit der zu untersuchenden Gesteine und der in ihnen eingeschlossenen Floren und Faunen stratigraphisch-chronologisch bestimmt ist. Wir decken alle hangenden Gesteine ab, prüfen, welche diagenetischen Veränderungen in ihnen erfolgt sind, reponieren alle später entstandenen Störungen und betrachten zunächst alle Grenzen der betreffenden Ablagerungen als durch Denudation verkleinert.

Dann beginnen wir die Untersuchung der paläoklimatischen Zustände des Festlandes, indem wir alle limnischen oder salinischen Gesteine sowie deren Floren und Faunen von den eigentlich marinen Bildungen regional-paläographisch abtrennen.

Die Topographie des Festlandes wird von Gebirgsbildung und Vulkanbildung bestimmt, und da beide Vorgänge oft mehrere Perioden hindurch wirksam waren, müssen wir zunächst die Faltenzüge und Vulkangebiete der vorhergehenden Periode eintragen. Denn selbst ein sich erniedrigender Gebirgsrumpf und eine Vulkanruine wirken lange noch auf spätere lithologische und biologische Zustände ein. Die varistischen Falten beherrschten auch die Permzeit und die permischen Vulkane reichten mit ihrem Einfluß bis in die Triasperiode.

Die örtliche Anhäufung mächtiger anorganischer Trümmergesteine (Rotliegendes, Nagelfluh, diluviale Schotter) läßt uns erkennen, wo größere Flüsse auf das ebene Vorland mündeten; der Übergang von horizontaler in diagonale Schichtung zeigt uns die Zone an, wo sandreiche Ströme in einer Wüste versiegten. Die Ausdehnung von Gletscherschliff und glazialem Geschiebelehm lenkt unser Auge nach den polaren Regionen, während unzersetzter Feldspat in Buntwacken, Grauwacken oder Arkosen die Wüstengebiete, andererseits aber rote Verwitterungsdecken die Ausdehnung der pluvialen Zone erkennen lassen.

In den gröberen Trümmergesteinen werden wir die gekritzten Geschiebe, die runden Gerölle und die geschliffenen Windkanter suchen sowie die aus der Zerstörung von Lateritdecken entstandenen roten Letten und Eisenkonglomerate. Die postkarbonen festländischen Kohlen entstanden in der Regel unter einem durch Senkung des Untergrundes dauernd hochstehenden Grundwasserspiegel. Kleinere Kohlensümpfe blieben zwischen den permischen oder tertiären Vulkanen unter Aschendecken erhalten.

Große Bedeutung haben die durch Gegenwinde festgehaltenen und daher oft unregelmäßig geschichteten Sandsteine der großen Sandmeere und die ebenfalls auf arides Klima hinweisenden chemischen Niederschläge von Kalk, Dolomit, Gips, Anhydrit, Salz und Edelsalzen.

In den älteren Urwüsten hatte die intensive physikalische Verwitterung so ausgedehnte Steinfelder geschaffen, daß zwischen ihnen alle Niederschläge rasch versanken und es daher nur selten zur Bildung stehender Salzpfannen kommen konnte.

Sobald wir in sorgfältiger Mosaikarbeit, jeden einzelnen festländischen Fund neben den anderen setzend, ein einigermaßen geschlossenes Bild des damaligen Festlandes gewonnen haben, müssen wir versuchen, die Fundorte von Flora und Fauna darin einzutragen. Ich habe es zweckmäßig gefunden, solche pflanzen- und tiergeographische Skizzen zunächst auf Pauspapier auszuarbeiten und dann mit dem topographisch-klimatischen Kartenbild zur Deckung zu bringen.

Die Flora wird wesentliche Ergänzungen zu den paläoklimatischen Zonen bringen, weil sie bodenständiger ist, wie die nomadisierende Fauna. Die steppenbewohnende Hipparionfauna oder die sumpfliebenden Hippopotamus und Biber werden uns wichtigere Fingerzeige geben, als die Pachydermen oder die Raubtiere, welche, vom Klima viel unabhängiger, weite Wanderungen bis zu ihrer Futterstätte unternehmen.

Die großen Flußrinnen mit ihren sandigen Niederungen führen uns leicht zu deren Mündungsgebiete im Küstenland. Hier treffen wir sofort eine fast unübersehbare Mannigfaltigkeit gleichzeitig gebildeter Fazies, die über- und nebeneinandergelagert oder wechsellagernd den raschen Wechsel des Litoralgebietes kennzeichnen.

Es ist wohl der schwerste Fehler vieler bisher gezeichneten Karten, daß sie gerade dieses amphibische und beständig wechselnde Grenzgebiet durch eine scharfe Linie darzustellen versuchten. Ich würde es für richtiger halten, sofern nicht ganz bestimmte Küstenerscheinungen vorliegen, die Grenze zwischen Festland und Meer als eine unscharf begrenzte Zone zu behandeln.

Das Problem des Strandes mit seinem raschen örtlichen und zeitlichen Wechsel aller lithologischen und biologischen Umstände wiederholt sich in ganz derselben Weise an jeder küstenfernen Untiefe und jedem Inselarchipel.

Während die Bestimmung der Gleichalterigkeit festländischer Gesteine wegen des raschen Fazieswechsels Schwierigkeiten macht, zeichnen sich die Ablagerungen am Boden großer Wasserbecken durch ihre oft weltweite Verbreitung aus.

Aber daneben bieten uns die eingeschlossenen fossilen Reste ganz eigenartige Aufgaben. Denn während es in der gesamten Meeresfauna der Gegenwart keine einzige kosmopolitische Art gibt, vielmehr verschiedene Breiten und Tiefen durch verschiedene Arten ausgezeichnet sind, herrscht in der Stratigraphie der Grundsatz, daß die Gleichalterigkeit verschiedener und entlegener Gesteine durch dieselbe Art bestimmt werden könne und daß zwei aus verschiedenen Arten zusammengesetzte Faunen auch verschieden alt seien.

Der diesen Sätzen zugrunde liegende biologische Irrtum verleitet leicht dazu, zwei gleichalterige und an ihren Grenzen miteinander wechsellagernde Fazies wegen der hierbei öfters vorkommenden lokalen Über-

lagerung als verschiedenalterig zu behandeln und damit alle weiteren Schlußfolgerungen unsicher zu machen.

Jedenfalls muß zunächst die Verbreitung der marinen Sedimente übersichtlich dargestellt werden, bevor wir beginnen, auf dieser Grundlage die Faunengebiete einzutragen. Hierbei wird weniger das einzelne Leitfossil, wie die Lebensgenossen in den Vordergrund treten müssen, deren Bedeutung uns noch später beschäftigen soll.

Ebenso wie man die Faltengebirge und Vulkane der vorhergehenden Periode zunächst auf die Fläche des zu behandelnden Festlandes eintragen muß, halte ich es auch für zweckmäßig, von der Meeresverbreitung der vorhergehenden Zeit auszugehen. Die Ausdehnung des Zechsteinmeeres in Europa erscheint ganz anders, wenn man zunächst das Artameer einträgt und von hier aus die transgredierenden Bewegungen verfolgt, ebenso wie das Muschelkalkmeer viel eindrucksvoller den germanischen Binnensee erfüllt, wenn man vorher die Salzpfannen der Rötzeit eingezeichnet hat.

Gerade im Grenzgebiet von Meer und Festland und in der Umgebung von Kalkriffen ergeben sich bei einem rein biologischen Vorgehen verhängnisvolle Widersprüche, die nur vermieden werden können, wenn man die Gesteine für wichtiger hält, als die in ihnen eingeschlossenen Fossilien.

Leicht einzutragen, aber in ihrer biologischen Wirkung oft schwer zu deuten, sind die Massenkalke, welche andere, gleichmäßiger verbreitete Sedimente zerlegen und gliedern. Oft fossilleer geworden, von kleinen oder größeren Höhlen durchzogen, erreichen sie örtlich große Mächtigkeit und werden meist von litoralen Lagunenbildungen abgeschlossen.

Auch die marinen Vulkangruppen sind geologisch gut zu erkennen und ihre Bedeutung für die Verbreitung von Seichtwasserfaunen über weit tiefere Meeresbecken ist ebenso lehrreich, wie die isolierten Lokalfaunen, die sich an den Abhängen aller Archipele so leicht ansiedeln können.

Besonders interessante Kärtchen entstehen, wenn man versucht, die fortlaufende Verbreitung eines bestimmten Sedimentes (Grünsande, Kohlen, Quadersande, Massenkalke, vulkanische Massen) durch verschiedene Stufen derselben Periode zu verfolgen oder die Wanderungen einzelner Arten oder Lebensgenossen durch einen kürzeren oder längeren Zeitraum in ähnlicher Weise darstellt.

In den verschiedenen Abschnitten dieses Buches, sowie in Dacqué's „Grundlagen der Paläogeographie“ sind diese Fragen und die dafür notwendigen Gesichtspunkte kritisch behandelt worden.

Auf Grund vergleichender Arbeiten in dieser Richtung gelangen wir schrittweise an jene letzte Problemgruppe der allgemeinen Paläonto-

logie heran, die weder die Fossilien, noch die sie umhüllenden Gesteine für sich allein betrachtet, sondern die ursächlichen Zusammenhänge zwischen diesen beiden großen Kausalreihen der leblosen und der belebten Natur zu ergründen sucht.

Wie sich das Leben der heutigen Organismen auf dem Hintergrund der rezenten Umwelt abspielt, so haben sich die ausgestorbenen Pflanzen und Tiere auf dem Hintergrund einer fossilen Umwelt entwickelt, bewegt und verändert; und wie uns die Ontologie den Zusammenhang jener Vorgänge enthüllt, so hat sich das Leben der Vorzeit nach ähnlichen paläontologischen Wechselbeziehungen entfaltet.

Indem man bisher diese letzten Fragen der allgemeinen Biologie nur auf theoretischem Wege zu lösen oder mit Hilfe kurzfristiger, botanischer oder zoologischer Experimente aufzuhellen versuchte, hat man zwar manches wichtige Ergebnis gewonnen, allein allen diesen Betrachtungen über die biologischen Vorgänge der Vorzeit fehlt die zeitliche Ordnung der Tatsachen.

Die vom einzelligen Ei bis zum fertigen Organismus führenden ontogenetischen Entwicklungsstadien können nicht ohne weiteres als die Schritte der Stammesentwicklung betrachtet werden, welche im Laufe der geologischen Vergangenheit durchmessen wurden. Denn die verwickelten Vorgänge der Entwicklungsmechanik erweisen sich als viel wirksamer, wie die vererbten Anpassungen an eine längst verschwundene Umwelt.

Nur wenn wir die früheren fossilen Phasen des Lebens innerhalb ihrer fossilen geologischen Umwelt untersuchen und ihre stratigraphisch eindeutige Aufeinanderfolge prüfen, kommen wir zu gesicherten Ergebnissen.

So tritt die von der Geologie geleitete Paläontologie auf sicherem Wege an die Ergründung der Stammesgeschichte der Pflanzen und Tiere, denn nur sie verfügt über ein chronologisch geordnetes Tatsachenmaterial. Wir können zwar die Stammbäume des Lebens nicht bis zu ihren Wurzeln verfolgen, aber wir überschauen doch einen Zeitraum von so ungeheurer Dauer, daß die von der Lebewelt während der fossilführenden Perioden vom Kambrium bis zum Alluvium durchmessenen Schritte uns erkennen lassen, nach welchen Gesetzen die Umbildung der Organismen im Laufe der Erdgeschichte überhaupt erfolgte.

Im letzten Teil dieses Buches wollen wir versuchen, diese verwickelten Probleme zu zergliedern und die Frage zu prüfen, wie man auf paläontologischem Wege den Wandel des Lebens in Raum und Zeit untersuchen kann.

Buchdruckerei des Waisenhauses in Halle a. d. S.



Fig. 1. Algonkische Moräne mit metergroßem Block. Flinders Gebirge (Australien)

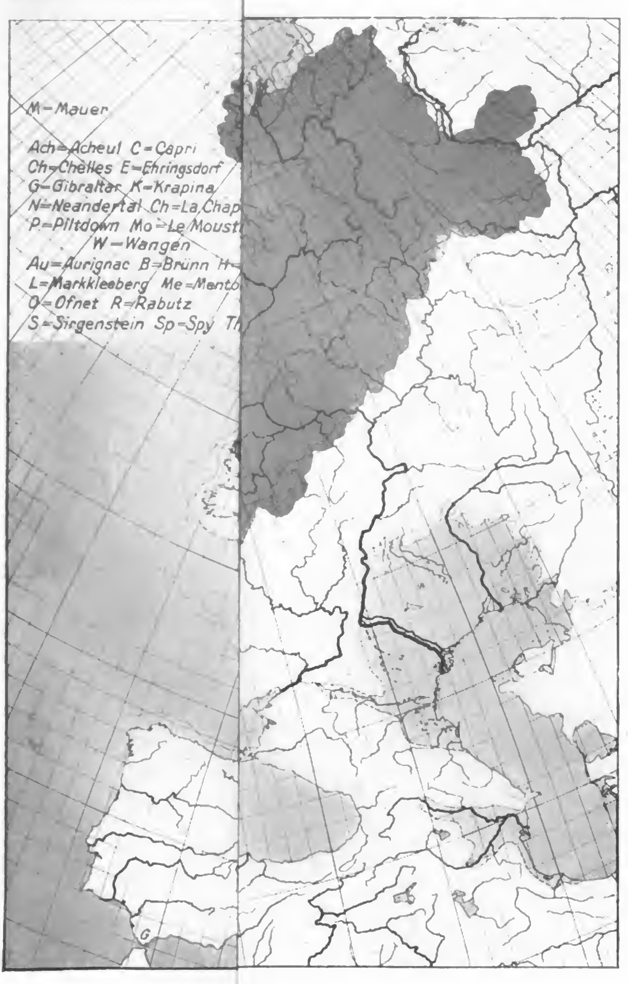


Fig. 2. Steilgestellte algonkische Schichten links überlagert von Blocklehm mit gekritzten Geschieben. Mt. Lofty bei Adelaide (Australien)

Fig. 3. Gefaltete Schiefer überlagert von der permischen Moräne mit großem Findling
Hallets Cove bei Adelaide

Fig. 4. Gefaltete Schiefer überlagert von der permischen Moräne an der Meeresküste von
Hallets Cove bei Adelaide


M=Mauer
Ach=Acheul C=Capri
Ch=Chelles E=Ehringsdorf
G=Gibraltar K=Krapina
N=Neandertal Ch=La Chapelle
P.=Piltdown Mo=Le Moustier
W=Wangen
Au=Aurignac B=Brünn
L=Markkleeberg Me=Mentone
O=Ofnet R=Rabutz
S=Sirgenstein Sp=Spy
G



enschenreste

IV. Teil

Der Wandel des Lebens in Raum und Zeit

Inhalt

51. Die physiologische Einteilung der Lebewelt

Das Leben in seinen Einzelformen wie in seiner Gesamtheit ist ein zeitlicher Vorgang, und die wechselnden organischen Gestalten, in die wir die Mannigfaltigkeit des organischen Lebens zerlegen, als Personen, Rassen oder Arten unterscheiden, als Gattungen, Familien und Ordnungen zusammenfassen, sind nur vorübergehende zeitliche Phasen eines kontinuierlichen Vorgangs, bei dem die Moleküle der unorganischen Natur in den Kreislauf des Lebens eingefügt, in beständigem Stoffwechsel umgeordnet und beim Tod der Einzelform schließlich wieder dem Reich des Unorganischen einverleibt werden.

Wenn es auch nicht möglich ist, den Zeitpunkt festzustellen, in dem das irdische Leben zum erstenmal auftrat, und wir noch weniger die primitiven Gestalten rekonstruieren können, die es zuerst annahm, so begann doch damals eine eigenartige Verwandlungsreihe, die zwar nie unterbrochen wurde, die sich aber von den ebenso kontinuierlichen Wandlungen der unorganischen Umwelt dadurch unterscheidet, daß sie immer wieder in bestimmte Endformen gezwängt wurde, die von anderen ähnlichen Endformen abgelöst wurden.

So sind Entwicklung, Wachstum, Artbildung, Anpassung, Vererbung nur Worte für geschichtliche Vorgänge, die kontinuierlich verlaufen, oft nur willkürlich zerlegt werden können und sich durch ihre innere und äußere Harmonie grundsätzlich von den Vorgängen in der unorganischen Welt unterscheiden.

Aber nicht minder auffallend ist die wunderbare Selbstregulierung, die wir bei allen diesen organischen Vorgängen beobachten. Ein Kristall wächst bei genügender Stoffzufuhr unbegrenzt, und ein Gestein von gleichartiger Zusammensetzung bildet sich ununterbrochen weiter, so lange der Bildungsraum unerfüllt und die Bildungsbedingungen unveränderlich bleiben.

Jedem Lebewesen aber sind innere und äußere Grenzen des Wachstums gegeben, die es nicht überschreiten kann, ohne seine eigentümlichen Dimensionen zu verlieren, und innerhalb desselben Lebensraumes prägen sich dieselben Wachstumsgesetze in jedem Individuum aus. Selbst der zeitliche Verlauf von Gestaltung, Umbildung oder Metamorphose verläuft für jedes Individuum derselben Rasse in engen Zeitgrenzen: Zu

gleicher Zeit blühen tausend Knospen auf, zu gleicher Zeit kriechen die Käfer aus ihren Larven und die embryonale Entwicklung jeder Art vollzieht sich unabhängig von dem Wechsel der Umwelt in annähernd derselben Zeit.

Der Mensch als Bewohner des Festlandes hat sich bemüht, die unübersehbare Mannigfaltigkeit dieser beständig bewegten und sich abwandelnden Gestalten in größere Gruppen einzuteilen und der erste, bis heute allgemein giltige Versuch einer solchen Gliederung unterscheidet die festsitzenden Pflanzen von den freibeweglichen Tieren. Als man dann die Lebewelt des Wassers kennen lernte und zahlreiche festgewachsene Tiere entdeckte, wurde das Wort „Pflanzentier" geprägt, um solche fremdartige Kollektivtypen zu kennzeichnen. Auch die Erkenntnis der Lebensvorgänge bei den heterotrophen Pilzen und Parasiten, die Unterscheidung zwischen Atmung und Assimilation, das physiologisch so schwer zu trennende Reich des Plankton und manche anderen Erfahrungen haben den volkstümlichen Gegensatz nicht zu verwischen vermocht, und so hat die scharfe Abgrenzung des Pflanzen- und Tierreiches bis heute seine Geltung behalten und das Wissensgebiet der Botanik wird von dem der Zoologie noch immer scharf unterschieden.

Inzwischen lernte man die Fossilien, d. h. die Überreste des vorzeitlichen Lebens kennen und suchte diese vielfach absonderlich gestalteten Formen in die großen Lebensgruppen der Gegenwart morphologisch einzuordnen. Die Unvollkommenheit ihrer Erhaltung, das Fehlen aller Weichteile, der Mangel der Farbe und vieler Oberflächengebilde erschien dem an vollständige Herbariumexemplare oder an gut konserviertes Spiritusmaterial gewöhnten Botaniker oder Zoologen Grund genug, um diese Reste für die Lösung allgemeiner biologischer Probleme als unwichtig zu betrachten.

Auf der andern Seite bemühten sich die Geologen, diese versteinerten Überreste des Lebens in möglichster Anlehnung an die zoologische oder botanische Systematik zu untersuchen und die aus dem rezenten Material gewonnenen allgemeinen biologischen Schlüsse auch auf die Lebewelt der Vorzeit anzuwenden. In diesem Bestreben, die paläontologischen Tatsachen den rezenten Erscheinungen des Lebens unterzuordnen, ging aber ihre wichtigste Eigenart verloren. Denn die Lebewelt der Gegenwart ist doch nur ein Querschnitt aus dem ununterbrochenen Wandelbild des organischen Lebens, das von den ältesten Perioden der Vorzeit nach einer unbekannten Zukunft weiterrinnt. Aus dem Lebensbild der flüchtigen Gegenwart können wir das geschichtliche Werden in der Vergangenheit zwar erraten, aber niemals klar überschauen.

Ganz anders erscheint die Lebewelt der Vorzeit. Denn trotz ihrer Unvollständigkeit ist jede einzelne paläontologische Tatsache chronologisch geordnet und über das Neben- oder Nacheinander der biologischen Ereignisse

kann kein Zweifel herrschen. Zu dieser bedeutungsvollen Eigenschaft des paläontologischen Tatsachenmaterials tritt aber noch eine zweite, nicht minder wichtige hinzu. Denn bei der Untersuchung einer größeren Schichtenfolge sehen wir nicht allein in lapidaren Zügen die Geschichte des damaligen Lebens, sondern erkennen zugleich in den die Fossilien umhüllenden Gesteinen deren einstige Umwelt, und der Gesteinswechsel vom Liegenden zum Hangenden läßt uns den Wandel des Klimas, der Wassertiefe oder seines Salzgehalts in eindeutiger Klarheit überschauen.

Wir haben im vorletzten Abschnitt dieses Buches die in dieser Hinsicht notwendigen und möglichen Untersuchungsmethoden behandelt, haben ihre Tragweite kritisch geprüft und an einzelnen Beispielen gezeigt, welche bedeutungsvollen Schlüsse auf diesem vergleichend lithologischen, oder wie man es heute oft etwas umständlicher ausdrückt, „sedimentpetrographischen" Wege gewonnen werden können.

Jedem sammelnden Geologen treten diese Probleme entgegen, aber sobald das gesammelte Material „gut präpariert", d. h. von allen anhängenden Gesteinsresten befreit und damit von den Belegen für seinen natürlichen Standort losgelöst, in einem Museum aufgestellt worden ist, sind diese wichtigen Dokumente der Vorzeit vernichtet und eine wissenschaftliche Untersuchung der Lebensbedingungen und Lebensvorgänge der betreffenden Fossilien ausgeschlossen. Nur im natürlichen Aufschluß sind die Tatsachen zu gewinnen, die uns den Schauplatz für das Drama des Lebens erkennen lassen und den buntbewegten Hintergrund zeigen, auf dem sich sein Blühen und Vergehen, sein Kampf und sein Sieg abspielt.

Bald sammeln wir in einem ungeschichteten Kalk von 500 m Mächtigkeit unten wie oben dieselbe Art, bald folgen in dünngeschichteten Platten von wenig Meter Höhe grundverschiedene leitende Gattungen gesetzmäßig übereinander. Oft vernachlässigt, selten in ihrer eigenartigen Harmonie beachtet, aber jedem sammelnden Paläontologen doch bekannt, besteht eine Übereinstimmung nicht nur zwischen dem Muttergestein und Erhaltungszustand der Fazies, sondern auch zwischen Fazies und Lebensgenossen, ganz ähnlich wie wir diese in der rezenten Welt zwischen Standort und Organismen beobachten. Sprungweise, wie sich die Fazies überlagern, folgen die Fossilien übereinander, und was dem flüchtigen Beobachter als seltsame Ausnahme erscheint, gewinnt bei nachhaltigem Vergleich den Charakter einer naturgemäßen Regel.

Hier öffnen sich neue Wege für die biologische Forschung. Denn was nur hypothetisches Tasten aus den ontologischen Erscheinungen der zeitlich verkürzten alluvialen Gegenwart vermuten kann, das wird zum Gegenstand methodischer Arbeit auf dem unermeßlichen Feld des chronologisch geordneten Formenschatzes der Fossilien. Wenn der Zoologe und Botaniker nur die flächenhaft ausgedehnte Verbreitung der rezenten

Arten kennt, vertieft sich der Blick des Paläontologen in die Abgründe der Vergangenheit und überschaut den dreidimensionalen Lebensraum zahlloser Gruppen.

In Rassen, Arten und Gattungen gesondert, von äußeren Umständen in wechselnde Floren und Formenbestände vereinigt, systematisch ebenso leicht zu zerlegen, wie bionomisch zusammenzufassen, überblicken wir den Stammbaum des Lebens, zwar nicht hinab bis zu seiner Wurzel, aber doch weit genug, um die phyletischen Zusammenhänge beurteilen zu können. Zahllose, völlig ausgestorbene Arten, erloschene Geschlechter und verschwundene Ordnungen lassen uns den oft weit größeren Formenreichtum der Vorzeit mit den in der Gegenwart noch übrig gebliebenen Relikten vergleichen (S. 555). Das biologisch geschulte Auge sieht überall neue Zweige entstehen und alte absterben, während sich die Urformen oft mit merkwürdiger Lebenszähigkeit durch allen äußeren Wechsel hindurchretten. Aber immer sehen wir *die neuen Lebensformen in einem seltsamen Zusammenhang mit neuen Gesteinen auftreten*, und wo dasselbe Gestein zu großer Mächtigkeit wächst, da dehnt sich auch der chronologische Verbreitungsbereich der darin enthaltenen Fossilien.

Indem wir von diesem vergleichend-bionomischen Standpunkt die Geschichte des Lebens überblicken, tritt der altgewohnte Gegensatz von Pflanze und Tier ganz in den Hintergrund. Denn die Reste beider großen Reiche sind vielfach in denselben Gesteinen gemischt. Sei es, daß vereinzelte Pflanzenteile zwischen Tierleichen eingestreut sind, sei es, daß eine deutliche Wechsellagerung von pflanzenführenden und tierreichen Gesteinen zu beobachten ist. Während eine rein botanische oder zoologische Betrachtungsweise uns daher innerhalb einer Fossilliste entweder nur die autotrophe Nahrung oder die heterotrophe Tierwelt vor Augen führt, tritt dem biologisch denkenden Paläontologen die bunte Welt der *Lebensgenossen* entgegen, die er nur künstlich in die beiden Naturreiche zu zerlegen vermag, weil ihre Glieder im fossilführenden Gestein so innig vereint auftreten.

Aber indem wir die aus den aufeinanderfolgenden Perioden überlieferten Lebensgenossenschaften prüfen und die in der Fossilliste vereinten Reste des vorzeitlichen Lebens als *biologische Einheit* mit älteren und jüngeren ähnlichen *Formenkreisen* vergleichen, tritt uns ein anderes Einteilungsprinzip des Lebens, chronologisch wie biologisch, mit zunehmender Deutlichkeit entgegen, bei dem nicht so sehr die morphologische Verwandtschaft, als wie die *physiologische Lebensweise* das Entscheidende ist.

Wir haben schon S. 209 auf die grundsätzliche Bedeutung des *Mediums* hingewiesen und die *Wasserwelt* von der *Landwelt* scharf unterschieden. Das Meerwasser als die Heimat alles Lebens bestimmt

Geologische Verbreitung der nur fossil bekannten Meerestiergruppen.

	Archaicum	Algonkium	Kambrium	Silur	Devon	Karbon	Perm	Trias	Jura	Kreide	Tertiär	Diluvium	Gegenwart
Archaeocyathidae			—										
Salterella			—										
Receptaculitidae				—	—	—							
Tetracorallia				—	—	—	—						
Heliolithidae				—	—								
Tabulata				—	—	—	—						
Graptolithen				—									
Cystoideen			—	—	—	—	—						
Blastoideen					—	—	—						
Goniatiten				—	—	—	—						
Ammoniten						—	—	—	—	—			
Belemniten								—	—	—			
Trilobiten			—	—	—	—	—						
Gigantostraca		—	—	—	—	—							
Rudisten										—			

zunächst alle Lebensvorgänge durch sein höheres spezifisches Gewicht gegenüber den Erscheinungen in der Atmosphäre, und die flüssige Hydrosphäre reicht unbegrenzt um die ganze Erdkugel. Der von der Sonnenwärme, der Kälte des Weltenraumes und der Schwerkraft bestimmte Kreislauf des Wassers vermischt immer wieder die durch topographische Wasserscheiden oder das Klima vorübergehend getrennten Wassermengen der Erde.

Seit dem Untersilur läßt sich die monophyletische Einheit des Weltmeers paläontologisch beweisen — niemals zerfiel seither der Ozean in mehrere völlig abgesonderte „Meere". Und wenn auch durch topographische oder klimatische Schranken vorübergehend einzelne Flächen der Erdkugel ein hydrographisches Sonderdasein führten und eine gesonderte Entwicklung der Lebewelt dadurch bedingt war, so wurde jedes isolierte Gebiet doch bald wieder in den allgemeinen Wasserkreislauf hineingezogen und damit verschwand die daran angepaßte eigenartige Lebewelt. Mit solchen Vorgängen hängt auch der Wechsel im Salzgehalt der Hydrosphäre zusammen, dessen biologische Bedeutung uns in einem späteren Abschnitt noch eingehend beschäftigen soll.

Es läßt sich nun geologisch zeigen, daß der Übergang von der Lebewelt des Wassers auf das trockene Land nur einmal in größerem Maßstab erfolgt ist und daß die ungefähr in der Devonzeit eintretende Besiedelung des Festlandes sowohl autotrophe Pflanzen wie heterotrophe Tiere unter völlig neue Lebensbedingungen brachte.

Im schroffen Gegensatz zum universell verbreiteten Weltmeer und seinen tributären Flußsystemen steht der insulare Charakter jedes Festlandes in der Gegenwart wie in der Vorzeit. Jede Insel und jeder Kontinent ist ein räumlich begrenzter Lebensraum, dessen Organismenwelt von einem andern, ebenfalls insular begrenzten Festland einwandern mußte.

Von ungleich größerer Bedeutung ist aber das physiologische Verhältnis, in welchem die unter dem Wasserspiegel lebenden Organismen zu dem sie umgebenden Medium stehen, verglichen mit den physiologischen Beziehungen zwischen den auf dem Festland von einer Gashülle umgebenen Pflanzen und Tieren.

Jeder echte endemische Wasserorganismus bildet im Grunde genommen eine von einer permeablen Haut umgebene Wasserblase, innerhalb deren unter dem Einfluß selbstregulierender Lebensvorgänge eine chemisch anders geartete und beständig wechselnde Lösung enthalten ist. Atmung, Assimilation, Ernährung, Sekretion, Exkretion und viele ähnliche Erscheinungen sind bei den Wasserorganismen nur die osmotischen Vorgänge eines individuell geregelten Austausches zwischen der Lösung außerhalb und innerhalb des Lebewesens.

Im Gegensatz hierzu sind alle festländischen Organismen durch eine fast den ganzen Körper umgebende Membran gegen ihr wasserarmes Lebens-

medium, die atmosphärische Lufthülle, abgeschlossen und nur einzelne größere (Mund, After) oder kleinere (Hautporen, Schweißdrüsen, Tracheen, Spaltöffnungen) Öffnungen vermitteln den Eintritt oder Austritt der für den Körper notwendigen Lösungen und Gase.

Nicht ohne Grund sind die Epidermoidalgebilde der festländischen Pflanzen und die Hautgebilde der Tiere so mannigfaltig an ihre Umwelt angepaßt: Schuppen, Haare, Rinde, Stacheln der Pflanzen, und Schuppen, Federn, Haare, Hörner der Tiere bestimmen ebenso entscheidend ihren Habitus wie ihre systematische Zugehörigkeit zu anatomisch verschiedenen Gruppen.

Die Wasserpflanze und das Wassertier leben, chemisch-automatisch eingefügt in ihre wässerige Umgebung, und nehmen an allen chemischen Veränderungen der Hydrosphäre teil — die Landpflanze und das Landtier sind Fremdlinge innerhalb der Atmosphäre, die sich gegen deren Angriffe und Einflüsse schützen müssen, so lange sie leben. Die chemischen Veränderungen der Lufthülle müssen schon eine beträchtliche Höhe erreichen, ehe sie das Leben der dort verbreiteten Organismen beeinflussen oder schädigen. So werden Klima, Topographie und die Dimensionen des Lebensraumes von entscheidender Bedeutung für ihre Schicksale und ihre Umbildung.

Es ist nun für den biologisch denkenden Geologen überaus merkwürdig, daß der Übergang vom Leben unter dem Wasserspiegel der Hydrosphäre in die darüber ruhende Lufthülle und die damit notwendig verbundene Umgestaltung aller Stoffwechsel-Vorgänge erdgeschichtlich nur ein einziges Mal in größerem Ausmaß erfolgt ist. Die Frage, wann diese Einwanderung aus dem Wasser- in das Luftmeer eintrat, ist deshalb noch nicht streng stratigraphisch zu fixieren, weil die festländischen Regionen jener älteren Perioden noch nicht genau untersucht und umschrieben worden sind und weil man viele amphibiotische Pflanzen und Tiere dieser Zeit mit Rücksicht auf ihre Lebensvorgänge noch nicht kritisch geprüft hat.

So viel wir heute diese Fragen entscheiden können, scheint die Devonzeit jene Vorgänge zu umspannen. Zwar kennt man schon im allerobersten Silur luftatmende Skorpione, und silurische Pflanzen sehen in ihrem äußeren Habitus den festländischen Pflanzen der Gegenwart sehr ähnlich. Aber eine große Zahl von Organismen, die während der Devonperiode auftreten, sind in ihrer allgemeinen Lebensweise schwer zu deuten, und die weite Verbreitung luftatmender Pflanzen und Tiere während der Karbonperiode eröffnet eine neue Zeit. Es scheint, daß viele Devonpflanzen zu den amphibiotischen Gewächsen gehörten, d. h. mit ihren im Wasser oder im feuchten Boden wurzelnden Teilen, nach Analogie der Wurzelregion rezenter Pflanzen, lebten und nur in den ober-

irdischen und aus dem Wasserspiegel aufragenden Organen begannen, trockene Gase in ihren Körper aufzunehmen.

Sehr merkwürdig sind auch die im Devon weit verbreiteten Panzerganoiden und manche mit ihnen zusammen auftretende rätselhafte Vertebraten, die, eingebettet in die Ablagerungen großer Trockenseen, eine amphibiotische Lebensweise vermuten lassen. Im Oberdevon sind zahlreiche Insekten bekannt, eine vierfüßige Fährte spricht für ein Landwirbeltier, und wenn im folgenden Karbon die Stegocephalen schon voll ausgebildet und differenziert auftreten, so muß ihre Entstehung ebenfalls in die Devonperiode verlegt werden.

Es ist auffallend, daß von den 8 Tierstämmen und 35 Tierklassen, deren Vertreter wir durch größere oder kleinere Strecken der Erdgeschichte verteilt sehen, seit dem Karbon nur 9 Klassen aus 3 verschiedenen Stämmen als festländisch lebende Gruppen verbreitet sind:

von den Arthropoden: die Arachniden, Myriapoden, Insekten,

von den Mollusken: die Pulmonaten,

von den Vertebraten: die Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere.

Die festländisch lebenden Würmer können als biologische Übergangsformen noch hinzugefügt werden.

Wenn noch heute alle Amphibien ihre Jugend im Wasser verleben, wenn viele Insekten aus Wasserlarven entstehen, wenn die über drei Kontinente verbreiteten doppelatmenden Fische (Ceratodus, Protopterus, Lepidosiren) von ihren devonischen Vorfahren bis zur Gegenwart diese zwiefältige Lebensweise erhalten haben, so scheint daraus hervorzugehen, daß solche Charaktere, deren Erwerb eine völlig neue Entwicklungslinie bestimmte und die besonders schwer zu erwerben waren, auch besonders zäh erhalten und vererbt werden. Erinnern doch noch heute die Knöchelchen des Gehörapparates der Säugetiere an das wasseratmende Leben ihrer Vorfahren.

Aber nicht nur die allgemeinen Lebensfunktionen mußten bei dieser so grundsätzlichen Einwanderung von der Hydrosphäre in die Atmosphäre umgestellt werden, sondern Hand in Hand damit ging eine morphologische Umbildung aller Organe.

Die Ausbildung von Tracheen, Lungensäcken und Lungen, die damit zusammenhängende Umgestaltung des Gefäßapparates, der Muskeln, Drüsen und Nerven, die Veränderungen der Hautfunktion und die Ausbildung von äußeren Schutzapparaten (Schuppen, Haare, Federn) gegen die austrocknende und abkühlende Wirkung der Luft, die Stelzbeine der Wirbeltiere, um sich über den Boden zu erheben, die Nahrungsaufnahme, die geographische Verbreitung und die Lebensgenossenschaften — alles das war die notwendige Folge dieser Umgestaltung.

Wir müssen zum Schluß aber noch ein letztes wichtiges Moment hervorheben: Die Entwicklung der Organismen wird nicht allein von

dem spezifischen Gewicht ihres Mediums, also ihren Beziehungen zur Elementengrenze bestimmt, sondern in sehr bedeutsamer Weise von den wärmenden und leuchtenden Sonnenstrahlen. Gerade die Entwicklung und Verbreitung der über dem Wasserspiegel lebenden Organismen wird von der klimatisch verteilten Sonnenwärme und von den Lichtstrahlen des fernen Zentralkörpers bestimmt. Unter dem Wasserspiegel gleichen sich die Wärmezonen aus und unter dem Äquator ruht eine von kaltem Polarwasser erfüllte Tiefsee.

Mit der Wärme verschwindet im Wasser mit zunehmender Tiefe das Sonnenlicht und es beginnt die ewige Nacht der abyssalen Regionen, die nur von den phosphoreszierenden Organen der Tiefseetiere erhellt wird.

Aber neben der allgemeinen Lichtabnahme, die etwa in 300 m Tiefe (sie schwankt je nach der Höhe des Sonnenstandes und der Trübung des Wassers von 50—400 m) als Assimilationsgrenze die durchleuchtete diaphane (pflanzenreiche) Oberschicht von der aphotischen (pflanzenleeren) Tiefsee trennt, beobachten wir auch eine qualitative Veränderung des ins Wasser eindringenden Sonnenlichtes.

Die meisten Lichtstrahlen werden, wie Huefner zuerst eingehend verfolgte, sehr rasch zerlegt und teilweise absorbiert. In einer 180 cm langen Säule reinen Wassers werden bei 18° folgende Farben durchgelassen:

Rot	ungefähr	50 %
Orange . . .	„	60 %
Gelb	„	80 %
Grün	„	90 %
Indigo . . .	„	95 %

So kommt es, daß rotes oder gelbes Licht nur in den oberen Wasserschichten überhaupt auftritt und daß die für die Aufnahme der Lichtstrahlen eingerichteten Farbstoffe der Pflanzen und Sehorgane der Tiere unter Wasser ganz andere Aufgaben erhalten, als über dem Wasserspiegel im vollen Glanz des gesamten Spektrums. Wie Hess zuerst gezeigt hat, ist kein Wassertier fähig, Farben zu erkennen oder zu unterscheiden; ihm erscheinen alle bunt gefärbten Gegenstände seiner Umgebung einfarbig in helleren oder dunkleren Tönen.

Wir werden in einem späteren Abschnitt auf die entwicklungsgeschichtliche Bedeutung des Farbensinns bei den Landtieren noch einzugehen haben.

So bildet sich in Zusammenhang mit diesen grundverschiedenen Lebensbedingungen des Weltmeers wie der einzelnen Festländer eine ganz verschiedene Art der Lebensführung und Lebensverbreitung und damit auch des Entwicklungsvorgangs aus.

Um diesen für alle Vorgänge der allgemeinen Biologie so grundsätzlich wichtigen Gegensatz zu kennzeichnen, genügt es nicht, zwischen

Algen und Phanerogamen, zwischen Wirbellosen und Wirbeltieren morphologisch zu unterscheiden, es genügt auch nicht, wie wir das S. 209 in anderem Zusammenhang taten, die Wasserwelt der Landwelt gegenüberzustellen.

Vielmehr bezeichnen wir jetzt unter schärferer Betonung allgemeiner physiologischer Erscheinungen, indem wir den Atmungsvorgang in den Vordergrund der Lebensvorgänge rücken, alle innerhalb der Hydrosphäre durch Osmose der äußeren Haut lebenden Pflanzen und Tiere als Hydropnoi oder Wasseratmer und unterscheiden von ihnen als Aeropnoi oder Luftatmer die an das Leben auf dem Festland und in der gasförmigen Atmosphäre angepaßten Pflanzen und Tiere, selbst wenn sie (wie die Seegräser oder die Delphine) nachträglich wieder im Wasser heimisch geworden sind. Die dauernd oder während ihrer Entwicklung aus dem Wasser und aus der Luft ihren Sauerstoff entnehmenden Doppelwesen nennen wir Amphipnoi oder Doppelatmer.

Die biologischen Wirkungen der Umwelt auf das Hydrobios und das Geobios werden uns in den folgenden Abschnitten noch viel beschäftigen. Wir möchten aber schon hier betonen, daß viele Schwierigkeiten bei der Lösung von Problemen der allgemeinen Biologie gemildert und sogar ausgeschaltet werden, wenn wir uns bemühen, die Entwicklungsreihen der wasseratmenden Organismen von denjenigen des Festlandes scharf zu trennen. Wir stellen daher in den Vordergrund unserer Betrachtungen nicht den biologischen Gegensatz von Pflanze und Tier und nicht die Unterscheidung rezenter und fossiler Lebensformen, sondern wir betrachten die autotrophen und heterotrophen, die rezenten und die fossilen Lebewesen nach denselben Gesichtspunkten und prüfen die biologischen Veränderungen der Wasserwelt und der Landwelt in ihrer historischen, ursächlichen Beziehung zu den unorganischen Zuständen und Veränderungen, die sich bei einer lithogenetischen Analyse der sie umhüllenden Sedimente ergeben.

52. Die Fossilführung der Lithosphäre

Rezente Pflanzen und Tiere beleben in bunter Mannigfaltigkeit und in gegenseitig abhängigen Lebensgenossenschaften die Lockerzonen an der heutigen Außenfläche der Erde und die Überreste fossiler Floren und Faunen sind als Zeugen einer früheren Lebewelt in die einst ebenso lockeren, später aber versteinerten Schichten eingeschlossen, die den Steinmantel der Erde aufbauen. Zahlreiche Übergänge verknüpfen jene alluviale Lebewelt mit diesen Lebensformen früherer Zeitperioden, dieselben Gattungen reichen durch die Formationen der Erdgeschichte hinab bis zu den älteren Zeiträumen, wo, als Ahnen jüngerer Formenkreise, andere Gattungen und Ordnungen auftreten, aber nirgends vermag der denkende Biologe eine Trennungsfuge zwischen ihnen zu entdecken.

Diese einheitliche monophyletische Lebewelt zerfällt, rein äußerlich betrachtet, in zwei grundverschiedene Wissensgebiete, die von verschiedenen Forschern bearbeitet und vertreten werden.

Auf der einen Seite stehen die Zweige der Biologie: Botanik, Zoologie, Entwicklungslehre, Physiologie und andere Disziplinen, die sich mit den Formen, Organen und Lebensäußerungen der alluvialen Organismen beschäftigen — auf der andern Seite steht die Paläontologie, der man das „Reich der toten Steine", d. h. der toten organischen Reste zur Untersuchung überlassen hat, und deren biologisch-historischer Charakter meist verkannt wird.

Vom morphologisch-anatomischen und systematischen Standpunkt aus hat man jene Grenze längst überschritten und der Name Paläozoologie oder Paläobotanik verdeutlicht die im Laufe des vergangenen Jahrhunderts gewonnene Einsicht. Aber eine ganze Anzahl wichtiger biologischer Probleme wurden bisher entweder nur an der Hand des rezenten zoologischen und botanischen Materials betrachtet oder nur nach paläontologischen Gesichtspunkten geprüft.

Das Ziel des vorliegenden Buches liegt darin, diese, nicht im Wesen der organischen Welt liegenden, vielmehr durch äußerliche Umstände bedingten Gegensätze auszuschalten, die künstliche Grenze zwischen Alluvium und Vorzeit zu beseitigen und die gesamte rezente und fossile Lebewelt nach einheitlichen biologischen Gesichtspunkten zu betrachten.

Als die Bergleute in der Mansfelder Mulde die Lagerung des silberhaltigen Kupferschiefers zwischen dem erzfreien (toten) und roten Liegenden und dem darüber lagernden hangenden Zechstein erkannt hatten, die dünne fischreiche Zwischenschicht auf beiden Flanken des Hornburger Sattels in die Tiefe tauchen und nach meilenweiter Entfernung mit demselben Erzgehalt und denselben goldglänzenden Ganoiden wieder emportreten sahen, bestimmten sie zum erstenmal die Eigenart der Geologie als einer historischen und biologischen Wissenschaft. Daß es noch Jahrhunderte lang dauern mußte, bis dieser grundsätzliche Charakter der Geologie allgemein anerkannt wurde, lag an dem starken Interesse, das die abiologischen Wissenschaften an den technisch verwertbaren Eigenschaften der Bodenschätze nahmen und der damit notwendig verbundenen chemisch-mineralogischen Arbeit der Forschung.

Je mehr sich aber die Geologie und Paläontologie von den praktischen Gesichtspunkten einer bergmännischen Betrachtungsweise frei machten, desto mehr traten ihre historischen und ihre biologischen Methoden in den Vordergrund.

Der zuerst beim Flözbergbau erkannte Grundsatz, daß von zwei sich direkt und in ursprünglicher Lagerung überdeckenden Schichten das Liegende historisch älter als das Hangende sei, wurde zum leitenden Prinzip einer exakten Untersuchung der gesamten Erdrinde.

Mit ihr schritt die stratigraphische Untersuchung der die Erdrinde zusammensetzenden Steinmassen von Land zu Land, von Kontinent zu Kontinent, und heute liegt die Schichtenfolge fast aller Gebiete, die je eines Weißen Fuß betrat, klar vor unsern Augen.

Dieses reiche Tatsachenmaterial bietet aber dem biologisch Denkenden weite Sicht über ein unermeßliches Gebiet und tiefe Einblicke in die Vergangenheit, die geeignet sind, auch dem Biologen, dessen Auge durch die rezente Lebewelt gefesselt und begrenzt wird, neue Seiten des irdischen Lebens zu enthüllen.

Die erste Tatsache, die wir feststellen, ist die ungeheure Mächtigkeit der die Erdrinde aufbauenden Gesteine.

Man pflegt die Oberzone der Erdkugel als die äußere erkaltete Erstarrungskruste von dem heißen Erdkern zu trennen, aber die Temperaturzunahme der Erdrinde wächst mit zunehmender Tiefe kontinuierlich ohne Sprungschicht, und nirgends läßt sich ein scharfer Temperaturgegensatz erkennen.

Wenn wir die in der Lithosphäre unterscheidbaren Kugelhüllen nach dem Gewebe der sie zusammensetzenden Massen unterscheiden und uns dabei auf wirklich beobachtete Tatsachen stützen, so können wir leicht drei Hüllen unterscheiden: Zu oberst liegt die Trümmerzone, vorwiegend gebildet aus locker verschiebbaren oder nachträglich wieder verkitteten Bruchstücken von verschiedener Korngröße, zwischen denen kristalline oder glasige Massen nur als untergeordnete Nester, Linsen, Gänge oder Stöcke eingeschaltet auftreten. Die meisten dieser „klastischen" oder Trümmergesteine sind aus einem oft weit entfernt liegenden Heimatgebiet durch Abtragung losgelöst, durch Schnee, Wind, Wasser oder Eis transportiert und in einem neuen Bildungsraum wieder aufgelagert worden.

Darunter folgt die kristalline Zone, die aus kleinen oder größeren an Ort und Stelle gewachsenen Mineralien besteht, die sich gegenseitig verzahnen und ein charakteristisches kristallines Mosaik bilden.

In noch größerer Tiefe ruht die glasige Zone des Magmas, jener seltsam gemischten, schlierigen, gasreichen Lösung, aus deren Abkühlung die kristallinen Gesteine immer wieder entstehen und in deren Glutfluß die kristallinen, ebenso wie die klastischen, Felsarten durch regionale Senkung wieder untertauchen und aufgelöst werden, so wie ein Eisberg im warmen Meerwasser einschmilzt.

Die Grenzen dieser drei Zonen sind unscharf, und örtliche Umstände bedingen es, daß entweder kleine Teile der tieferliegenden kristallinen (Granitberge) oder glasigen (Obsidianströme) Masse bis zur Erdoberfläche nach oben hindurchragen, andererseits als vergneiste Massive und kleinere Relikte (z. B. Gerölle und gekritzte Geschiebe im kristallinen Grundgebirge) eingestreut erscheinen — denn die größten geologischen Kräfte, Abtragung und Auflagerung, Senkung und Hebung sind bestrebt, die ursprünglichen

Grenzen dieser drei Zonen immer wieder zu verwischen und zu verschieben.

Es ist nicht schwer, in der klastischen Oberzone der Erdrinde die einzelnen, sich überlagernden Gesteinsmassen zu unterscheiden, denn meist werden sie von parallelen Ebenen oder Schichtenfugen begrenzt, und ihre Mächtigkeit, d. h. der senkrechte Abstand zwischen den dadurch gegebenen Grenzflächen, ist meist ohne Schwierigkeit zu messen. Selbst wenn nachträgliche Störungen die Schichtenfolge zerbrochen oder gefaltet haben, ist die konkordante regelmäßige Überlagerung der liegenden durch folgende hangende Schichten leicht zu erkennen.

Oft trennt nur eine kaum meßbare Tonzwischenschicht, entstanden durch aeolische Staub-Überwehung, Bänke von derselben Gesteinsbeschaffenheit; in anderen Fällen sehen wir eine beständige Wiederholung zweier verschiedener Gesteinsfazies, bisweilen wechsellagern mehrere Felsarten. Solche Fälle eines wiederholten Fazieswechsels sind der Ausdruck wiederholter Änderungen des gesteinsbildenden Vorgangs und mithin der gesteinsbildenden Umstände.

Wenn wir bedenken, daß alle Trümmergesteine ehemalige Lockerböden sind, die, sei es auf dem Festland oder am Boden großer Wasserbecken, unter dauernder oder periodisch auftretender Wasserbedeckung entstanden sind, so werden wir in deren lithologischen Eigenschaften den Ausdruck der zur Zeit ihrer Bildung dort herrschenden lithogenetischen Umstände sehen, die in beständigem Wechsel die Herrschaft von Meer- oder Süßwasser, Überflutung oder Abtrocknung, Bergsturz oder Gletscherboden, Schnee oder Urwald, Steppe oder Küstengebiet anzeigen.

Viele der klimatisch-geographisch oder ozeanographisch bedingten Bodenarten waren zur Zeit ihrer Bildung von mannigfaltigen Lebensgenossenschaften bedeckt und belebt, so daß Reste derselben in die umgebende Lockermasse eingeschlossen und dauernd erhalten blieben. Andere Flächen waren unbelebt, und daher konnten unter ihnen nur fossilleere Gesteine entstehen. Die Aschenregen am Abhang eines tätigen Vulkans, die dauernd von Schnee und Eis bedeckten Böden der nivalen Region, die Wanderdünen und Salzseen der Wüste, aber auch weite Flächen des Meeresgrundes, wo sich unter dem Einfluß stagnierender Halistasen der Schlamm mit giftigen Gasen anreicherte, konnten nur von abgestorbenen Resten festländischer Organismen oder von den im Wasser herbeigetriebenen Leichen planktonischer oder nektonischer Wesen überstreut werden.

So finden wir über fossilreichen Gesteinsplatten andere, in denen nur vereinzelt abgerollte Reste zu sehen sind, oder völlig versteinerungsleere Schichten, und der beständige Wechsel dieser unter ganz verschie-

denen Umständen eingeschlossenen und verschieden gut erhaltenen Lebensformen bietet dem sammelnden Geologen anziehende Probleme.

Am merkwürdigsten ist es, daß gerade in solchen Sedimenten, die in ihrer ganzen Masse nur aus organischen Resten bestehen, deren Gestalt so unscheinbar und unbestimmbar geworden ist, daß sie fossilleer erscheinen. So enthalten die meisten organischen Kohlen- und Kalkgesteine nur an besonders günstigen Fundstellen erkennbare organische Gestalten, und das einst dort herrschende Optimum organischen Lebens ist wohl aus der Masse organischer Materie, aber nicht an der Zahl wohlerhaltener Individuen zu ermessen.

Der rasche oder langsame Faziéswechsel der gleichzeitig, aber in verschiedenen Bildungsräumen entstandenen Schichtenfolge erschwert in der Regel ihre chronologische Einordnung, und isolierte Aufschlüsse würden kaum einzugliedern sein in die normale Folge lithogenetischer Bildungen, wenn nicht eine Eigenschaft der fossilführenden Schichten diese Arbeit sehr erleichterte.

Durch die Vergleichung gewisser leitenden, d. h. in zeitlich verschiedenen und sich überlagernden Trümmergesteinen enthaltener organischen Reste erkannte man schon am Anfang des vorigen Jahrhunderts, daß viele marine Tierarten in einer ganz bestimmten Aufeinanderfolge auftreten. Indem man die Fossilien in den zeitlosen Schichtenfolgen aller Länder daraufhin prüft, welche von ihnen als „Leitfossilien" eine bestimmte chronologische Stellung in der Schichtenfolge erkennen lassen, ergab sich nach manchen, bei einer so rein empirischen Untersuchung unvermeidlichen Fehlern, eine völlig gesicherte Chronologie leitender Arten, die, meist in bunter Reihe aus ganz verschiedenen Gruppen oder Klassen des Tierreichs stammend, doch in ihrem geologisch-stratigraphischen Auftreten eine sichere Ordnung zeigen.

Mit ihrer Hilfe wurde das Prinzip der Überlagerung der Erdschichten wesentlich vervollständigt und die stratigraphische Methodik zur wichtigsten Hilfswissenschaft der Geologie ausgebaut. Denn da alle in die Erdrinde eingefügten, technisch wertvollen Bodenschätze in ihrer Lage innerhalb wertloser Gesteinsmassen durch solche leitend organischen Formen erkannt und mit deren Hilfe gefunden werden können, wurde die Stratigraphie eine immer wertvollere Disziplin.

Daß nur aufgelagerte Gesteine Fossilien enthalten und eingelagerte Ganggesteine oder Tiefengesteine ursprünglich versteinerungsleer sind bedarf keiner Betonung. Die Leitfossilien bestimmen aber nicht nur das relative Alter des sie umhüllenden Gesteins, sondern auch das der Lebensgenossen, die mit jenen gleichzeitig lebten, und wenn leitende Arten in der Regel selbst nur eine untergeordnete phyletische Bedeutung besitzen, so bietet uns das Studium der mit ihnen auftretenden Lebensgenossenschaften eine Fülle von allgemein biologischen Problemen.

Trümmergewebe und Fossilgehalt sind also die wichtigsten Kennzeichen der die Oberzone der Erdrinde zusammensetzenden Felsarten und ihre Mächtigkeit ist der Ausdruck der zu ihrer Bildung notwendigen Zeiträume.

Manche Trümmergesteine enthalten außerdem Spuren eines regelmäßig wiederkehrenden Rhythmus der Gesteinsbildung. Organische Kohlengesteine lassen die Länge ihrer Bildungszeit nach dem Wachstum rezenter Torfmoore annähernd beurteilen; organische Kalke können nach der Wachstumsgeschwindigkeit von Korallen oder Muschellagern zeitlich geschätzt werden, die Bänderung periglazialer Tone spricht für jahreszeitliche Unterbrechungen der Eisschmelze und die „Jahresringe“ in Salzlagern lassen die rhythmische Wiederkehr von Trockenperioden erkennen. Ja, auch viele andere dünngeschichtete Sedimente sprechen für ein ähnliches Zeitmaß.

Aber sobald wir an der Hand solcher Beispiele versuchen, die zur Bildung einer größeren Gesteinsfolge nötigen Zeiträume zahlengemäß zu bestimmen, treten uns so viele grundsätzliche Fehlerquellen entgegen, daß wir alle solche Bemühungen für zweifelhaft halten, weil die geologischen Voraussetzungen solcher rhythmisch gegliederten Schichtenfolgen viel zu mannigfaltig sind, um sie in einer einfachen Formel oder in einer bestimmten Zahl ausdrücken zu können.

Wir lehnen es daher ab, irgend eine geologische Erscheinung im Schichtenbau der Erdrinde nach absolutem Zahlenwert zu bestimmen und halten uns nur an die völlig einwurfsfreien Zahlen der gemessenen ursprünglichen Mächtigkeiten aufgelagerter Gesteine.

Wenn wir demgemäß die in Deutschland und seinen Nachbargebieten im einzelnen exakt gemessenen und an der Hand leitender Fossilien zeitlich geordneten Trümmergesteine der Erdrinde im Geiste übereinander bauen, erhalten wir von der Unterkante der ältesten fossilreichen Formation des Kambrium bis zu den Bildungen der Gegenwart einen Schichtenstoß von 25000 m. Wer diese mit tausendfältigen Spuren des autotrophen und heterotrophen Lebens erfüllte Gesteinsfolge von oben her betrachtet und ihren Fossilgehalt einzureihen versucht in die rezente Formenwelt, wird zwar viele dem Zoologen oder Botaniker besonders wichtige Formenkreise in der früheren Lebewelt vermissen oder so lückenvoll vertreten sehen, daß er angesichts dieser „Unvollständigkeit der paläontologischen Überlieferung“ geneigt ist, die geologischen Urkunden des Lebens als unwichtig zu betrachten.

Aber wir müssen, um zu einem richtigen Urteil über den Wert oder Unwert der paläontologischen Tatsachen zu gelangen, einen andern Standpunkt wählen und die fossilführende Schichtenreihe nicht von oben, sondern von der Seite aus betrachten. Dann wird die rezente Gegenwart als die zwölfte Periode der lebensvollen Erdgeschichte nur der kurze

Abschluß langer vorhergegangener Zeiträume, und die postdiluvialen, in der Gegenwart gebildeten, kaum 100 m mächtigen Ablagerungen schrumpfen mit ihrem gesamten Gehalt an rezenten Pflanzen und Tieren zu einer dünnen Zeitschicht zusammen, während die vorher gebildeten fossilen 25000 m in ihrer imponierenden Mächtigkeit uns das wahre Bild der Zeiträume vor Augen führen, die ein biologisch geschulter Paläontolog überschaut. Wenn wir auch die zeitlichen Dimensionen der verflossenen Perioden nicht in Zahlen ausdrücken können, so gibt uns doch die räumliche Dimension ihrer Mächtigkeit ein klares Bild des Verhältnisses von Gegenwart und Vorzeit.

Das erste, was wir bei einer solchen Betrachtung lernen, ist die Tatsache, daß innerhalb eines Zeitraumes, groß genug, um 25000 m aufgelagerte Trümmergesteine zu bilden, das Leben der Wasseratmer niemals unterbrochen war und sich seit dem Untersilur monophyletisch entwickelte.

Die ersten Vertreter der Luftatmer finden wir im Devon, und auch für den seither verflossenen Zeitraum gilt der Satz, daß seitdem das Leben auf den Festländern sich monophyletisch entfaltet und immer weiter verbreitet hat.

Das zweite, was uns einen allgemeinen Überblick über die zeitlich geordneten Vertreter des vorzeitlichen Lebens zeigt, ist die Tatsache, daß sowohl Pflanzen wie Tiere immer in wohlgesonderten Arten auftreten und daß regellos variierende Formen inmitten dieser aus guten Arten bestehenden Floren und Faunen nur seltene lokale Ausnahmen bilden. Gerade gegenüber der von Darwin und seinen Nachfolgern erhobenen Forderung, daß die scharfgesonderten Spezies der Gegenwart nur das historische Endergebnis beständig variierender Formenkreise der Vorzeit seien, muß diese Tatsache mit besonderem Nachdruck betont werden.

Fast noch überraschender ist für den Anhänger der Entwicklungslehre die Tatsache, daß die ältesten bekannten Spuren des Lebens keineswegs den Charakter primitiver Urformen tragen, sondern typologisch ebenso hoch entwickelt und ebenso mannigfaltig differenziert sind, wie die Lebensformen aller folgenden Perioden, einschließlich der Gegenwart.

Solange man nur die im Kambrium von Europa verbreiteten Trilobiten, Brachiopoden und seltsamen Cystoideen kannte, durfte Barrande diese älteste Lebewelt mit ihren hornschaligen Formen als eine „Primordialfauna" bezeichnen. Aber heute, wo durch Bornemann die mächtigen Kalkriffe Sardiniens mit ihren seltsamen Archäocyathiden, durch Walcott die hochentwickelten rätselhaften Würmer und Arthropoden und die artenreichen Brachiopoden von Nordamerika beschrieben sind, müssen wir nachdrücklich betonen, daß die älteste bekannte Lebewelt des Wassers

nach der Höhe ihrer Organisation der rezenten Lebewelt ohne weiteres an die Seite gestellt werden kann. Ein 50 cm großer Paradoxides Davidis aus dem englischen Kambrium kann einem rezenten Hummer ohne Schwierigkeit biologisch verglichen werden, und die von WALCOTT beschriebenen hochentwickelten Gliedertiere zeigen dieselben vielgestaltigen Organe, die das Studium der rezenten Meeresfauna so reizvoll machen.

Ebenso wie es im Kambrium keine primitiven, vergleichend anatomisch „einfachen“ Urgruppen gibt, so finden wir auch keine Spur eines indifferenten, ungeformten Lebens, wie es etwa die Lehre vom Bathybius als den Anfang des Lebens vermuten lassen könnte.

Alle Formen des fossilen Lebens bestehen nicht nur aus wohlgesonderten Arten, sondern auch aus scharf getrennten Personen oder aus Stöcken, die ähnlich wie die festsitzenden oder schwebenden Stöcke der Gegenwart aus einzelnen, durch Sprossung entstandenen Personen zusammengesetzt sind. Oft tritt Stockbildung bei Formenkreisen auf, die heute meist nicht mehr stockbildend sind, aber beim Betrachten der Tabulaten, Helioporiden, Rugosen, Rudisten usw. erkennt man dieselben Gesetze einer Fortpflanzung ohne Trennung der Personen, wie sie heute bei den Korallen, Bryozoen und anderen sessilen Formen der Gegenwart beobachtet werden.

Besonders auffallend ist die Tatsache, daß genau wie in der Gegenwart das Wachstum aller fossilen Lebewesen von dem Gesetz spezifischer Selbstregulierung beherrscht wird. Deutlich können wir an günstigen Fundorten Jugendformen und ausgewachsene Exemplare unterscheiden, aber das harmonische Zusammentreten bestimmter Eigenschaften, besonders der allgemeinen Körperdimensionen der Art, ist stets zu erkennen. „Zwerge“ sind meist jugendlich abgestorbene Personen, Riesenwuchs kommt nur bei großen Arten oder als fazielle Sonderheit günstiger Ernährungszustände vor und pathologische Individuen sind ebenso selten, wie in der Gegenwart, zwischen den normal gestalteten Personen verstreut.

Daß die Form der einzelnen fossilen Art während ihres individuellen Wachstums nicht nur gewissen gesetzmäßigen Schwankungen unterworfen sein kann, sondern auch vom Larvenleben zum fertigen Tier metamorphe Verwandlungen vorkommen, zeigt die fossile Tierwelt ebenso wie die rezente Fauna, und die Samen der fossilen Pflanzen lassen sich nach denselben morphologischen Regeln beurteilen, wie die beweglichen Fortpflanzungsprodukte der heutigen Flora.

Aber auch in einem andern wichtigen Punkt sehen wir eine ganz auffallende Übereinstimmung zwischen dem Leben der Vorzeit und dem der Gegenwart: Obwohl eine einseitige, rein systematische Betrachtung der heutigen Flora und Fauna dahin geführt hat, daß man die natürlich zusammenlebenden und biologisch zusammenhängenden Lebensgenossen

voneinander trennt, so ist es doch dem biologisch denkenden Zoologen und Botaniker klar, daß Pflanzen und Tiere aus ganz verschiedenen Klassen und Ordnungen in der Regel als biologische Lebenseinheit auftreten. Nur ganz vereinzelt und vorübergehend, beobachten wir in der Natur jene Reinzucht einer Art, wie sie unter künstlichen Bedingungen durch den Menschen kultiviert wird und weit verbreitet ist.

Ein Wald besteht nicht nur aus Bäumen, sondern auch aus Strauch, Kraut, Gras, Pilzen, Moos, Algen und Flechten, und zu seiner biologischen Einheit gehören ebenso die Waldinsekten wie Specht und Großwild.

Ähnliche Lebensgenossenschaften zeigt uns noch viel ausgesprochener die Wasserwelt des Meeres, und tritt dem sammelnden Geologen eigentlich viel eindrucksvoller entgegen als dem Zoologen, der immer geneigt ist, aus dem bunten Tier- und Pflanzengewimmel im Planktonnetz oder in der Dredge rasch die systematisch verschiedenen Elemente herauszufinden und in seinen Gläsern zu isolieren, bis zuletzt jede Art für sich im Museumsschrank aufgestellt wird.

Die fossile Fauna eines Fundortes wird dagegen vom Geologen meist gemeinsam gesammelt und, wenn nicht im Museum, doch in der Publikation als einheitliche Faunenliste dargestelllt und beschrieben.

Wir bezeichnen diese notwendig zusammenlebenden Formenkreise eines bestimmten Standorts als Synusien.[1]) Sie beherrschen das Auftreten nicht nur der Lebensgenossen jeder einzelnen Schicht, sondern auch die Arten, Gattungen, Familien und Ordnungen der verschiedenen Perioden. Denn wenn uns die einzelne leitende Art den geologischen Horizont nachzuweisen und wiederzufinden erlaubt, so wird jeder chronologische Abschnitt der Erdgeschichte durch bestimmte biologische Synusien gekennzeichnet.

Aber auch die räumliche Verteilung der fossilen Lebewelt zeigt dasselbe Bild einer geographischen Flächenverteilung, wie es uns aus der Flora und Fauna der Gegenwart so wohlbekannt ist. Und auch hier ist die paläontologische Arbeit in gewissem Sinne der botanisch-zoologischen Betrachtungsweise vorausgeeilt, weil wir Geologen aus einer bestimmten Schicht nicht die Tiere von den Pflanzen gesondert herauslesen, sondern die Vertreter beider Naturreiche gemeinsam sammeln. Zwar hat die einseitig pflanzengeographische und tiergeographische Betrachtungsweise der Botaniker und Zoologen auch viele Paläontologen veranlaßt, nur die geographische Verbreitung der Vertreter eines der

---

1) Ich habe mir vor langen Jahren diesen Ausdruck gebildet und ihn bei meinen Vorarbeiten für dieses Buch benützt, und war überrascht, als ich dasselbe, zur Bezeichnung derselben biologischen Tatsache neugebildete Wort, in der ausgezeichneten Arbeit von Helmut Gams: Prinzipienfragen der Vegetationsforschung. Vierteljahrsschr. der Naturf. Gesellschaft, Zürich LXIII, 1918, angewendet sah — ein merkwürdiger Fall von Duplizität des Denkens!

großen Naturreiche zu betrachten — aber die normale geologisch-paläontologische Literatur hielt an der organischen Einheit des Standortes fest und gewann dabei ein Tatsachenmaterial von großer biologischer Bedeutung. Es in dem angedeuteten Sinne weiter zu verwerten und auszubeuten, wird eine wichtige Aufgabe zukünftiger paläontologischer Arbeit sein.

Wenn wir uns nun den zeitlichen Beziehungen der aufeinanderfolgenden Lebensgenossenschaften zuwenden, so müssen wir zuerst der sich überlagernden, also in demselben Bildungsort entstandenen, aber lithologisch verschiedenen Gesteinsmassen gedenken, deren Verschiedenheit als Fazieswechsel uns schon früher beschäftigt hat.

Im allgemeinen bleibt die in einem Gestein enthaltene Lebewelt so lange unverändert, wie das umhüllende Gestein dieselben wesentlichen primären Eigenschaften zeigt. Sobald aber, und dies geschieht in der Regel ohne Übergang, ein neues Gestein auftritt, so erscheint mit demselben auch eine neue Synusie. Es prägt sich gerade hierin die enge Abhängigkeit der Organismenwelt von ihrem Standort aus, und besonders von den ihren „Wurzelboden" bildenden äußeren Umständen.

Dieser mit dem Fazieswechsel gleichsinnig auftretende Synusienwechsel beherrscht oft sogar die kleinsten Zwischenschichten von anderer Beschaffenheit, und es ist für die biologische Analyse der meisten bisher aufgesammelten und beschriebenen fossilen Faunen und Floren verhängnisvoll, daß man meist den Fossilgehalt eines Fundortes nicht sorgfältig genug nach den dort übereinander auftretenden Gesteinen gesondert hat. Denn eine dünne Kalklinse mitten im tonigen Kalkschlamm des Wellenkalkes oder eine schmale Lettenschicht inmitten eines mächtigen Profils von mittelkörnigen Sandsteinen wird in der Regel eine Lebewelt enthalten, deren Charakter abweicht von den in jenen begleitenden Gesteinen enthaltenen Fossilien. Nur wenn der sammelnde Geologe auf diese lithologischen Unterschiede achtet, kann er eindeutige Schlüsse auf die Umwelt seiner Fauna ziehen.

Die geschilderten Tatsachen hängen eng zusammen mit einem weiteren Erfahrungssatz: daß jeder kleinere oder größere Zeitabschnitt, umschrieben durch das Vorherrschen eines bestimmten Leitgesteins (Kieselschiefer, Sandstein, Letten, Kalk usw.) eine systematisch einheitliche Lebewelt enthält. Denn nicht nur die leitende Art ist bestimmend für einen lithologischen Horizont, sondern leitende Synusien charakterisieren bestimmte Zeiträume.

Je größere Schichtenfolgen wir voneinander biologisch zu trennen versuchen, desto höhere systematische Einheiten werden in der Stratigraphie als deren chronologisches Kennzeichen verwendet. Wenn also eine einzelne Graptolithenart irgend eine der 20 Zonen bestimmt, in die man die dünnplattigen Schiefergesteine der Silurformation zerlegt, so ist

die Gruppe der Graptolithen selbst bezeichnend für die gesamte Silurperiode, und wenn die einzelne Belemnitenart die Stufen der Liaszeit unterscheiden läßt, so umfaßt die Lebensdauer der Belemnitengruppe die Mittelzeit (Jura, Kreide).

Daß in solchen Fällen phyletischer Entwicklung oder tiergeographischer Ausbreitung auch vermittelnde Grenzfälle auftreten und manche Schwierigkeiten bei der Gliederung verursacht haben, bedarf keiner Erläuterung.

Aber noch eine weitere biologische Erfahrung ergiebt sich aus den besprochenen Umständen:

Es gibt bodenständige Gruppen, die an die herrschende Bodenart angepaßt, bei deren Wechsel vorübergehend zum Auswandern nach einem Nachbargebiet gezwungen werden, aber sofort ihre alten Wohnplätze wieder einnehmen, wenn die äußern Umstände dies erlauben. So entwickeln sie sich als Dauerformen innerhalb eines bestimmten Lebensraumes und erfüllen, mehrfach vielleicht unterbrochen, aber doch immer wiederkehrend, eine größere Folge nacheinander gebildeter Gesteine.

Solche langlebige endemische Formen können natürlich nicht zeitbestimmend verwendet werden, und so ist das Interesse des gliedernden Stratigraphen für dieselben im allgemeinen gering. Auch in den Gliederungslisten werden sie oft nur nebensächlich behandelt, obwohl gerade diese chronologisch indifferenten Formen eine besonders wichtige biologische Rolle spielen.

Mitten zwischen diesen dauernd lebenden Formenkreisen, die uns die normale Entwicklung des organischen Lebens zu beurteilen erlauben, treten nun einzelne Arten oder kleinere Faunagenossenschaften plötzlich oder transgredierend auf und verschwinden oftmals ebenso rasch wie sie gekommen sind. Ihr Erscheinen ist bisweilen mit kurzfristigen Änderungen der lithologisch-biologischen Umstände verbunden, aber in andern Fällen handelt es sich um passive Drift des Planktons oder Nektons, oft sogar um die Verfrachtung leerer Schalen abgestorbener Cephalopoden oder ähnlicher Treibkörper. Wir nennen solche Arten Leitfossilien, weil ihre eindeutige Verbreitung die Bestimmung einzelner Horizonte und damit die chronologische Gliederung größerer Schichtenfolgen in entlegenen Gebieten ermöglicht. Ihre Bedeutung für die systematische Stratigraphie gibt ihnen größeren praktischen Wert, als sie oft vom entwicklungsgeschichtlichen Standpunkt verdienen, und die auf ihnen beruhende Biostratigraphie ist daher nicht ohne weiteres im Stande, allgemeine Probleme des Lebens zu lösen.

Wenn so eine biologische Betrachtung der Schichtenfolge und ihres Fossilgehaltes eine Fülle von grundsätzlich wichtigen Fragen aufrollt, so knüpfen sich andere, nicht minder bedeutsame Erörterungen an die untere Grenze der Fossilführung an.

So lange in Mitteleuropa das kristalline Grundgebirge, als dessen wichtigsten Vertreter man den (in der Karbonzeit entstandenen!) Granit betrachtete, als Erstarrungskruste der Erde galt, war das Problem von den ältesten bestimmbaren Fossilien zugleich ein Problem der damals allgemein herrschenden Lehre der Urzeugung, und die hohe Organisation der ältesten kambrischen Tiere schien allen Gedanken der damals aufkommenden Entwicklungslehre zu widersprechen.

Diskordant liegt in Böhmen und Schweden das fossilreiche Kambrium auf einem liegenden, fossilleeren, vollkristallinen Gneisgebirge, und so schien auch diese Lagerungsform mit jenen Anschauungen übereinzustimmen, die ihren sprechenden Ausdruck in Barrandes mittelkambrischer „Primordialfauna" fand. Es war daher von größter Bedeutung, als Gümbel bei seinen klassischen Aufnahmen im Fichtelgebirge zwischen Selb und Rehau ein fortlaufendes, mehrere Kilometer mächtiges Profil bei völlig konkordanter Lagerung vom vollkristallinen Gneis durch halbkristalline Schiefer bis zu den fossilführenden Trümmergesteinen des älteren Paläozoikum entdeckte.

Seither sind ähnliche Profile aus vielen andern Ländern untersucht und beschrieben worden, aus denen mit Sicherheit hervorgeht, daß die im Liegenden solcher konkordant gelagerten fossilhaltigen Trümmergesteine mit allmählichen Übergängen erscheinenden fossilfreien kristallinen „Urgesteine" aus jenen durch spätere Metamorphose entstanden sind.

Dieser Vorgang der „Vergneisung", wie wir ihn nennen, reicht je nach der Mächtigkeit des gesenkten und dann wieder emporgefalteten Schichtenstoßes bis in verschiedene Höhe des Hangenden hinauf, und durch den Vergleich dieser nachträglich entstandenen „unteren Grenzen des Fossilgehaltes" sehen wir auch das Problem von den Urzuständen des Lebens in neuem Lichte.

Die ältesten erkennbaren Fossilien sind keineswegs die Reste der ältesten irdischen Lebewelt, sondern die Nachkommen älterer Synusien, deren Spuren bei der Vergneisung der sie umhüllenden Gesteine ebenso verschwunden sind wie das ursprünglich vorhandene klastische Gewebe derselben.

Trotz vieler dahinzielender Untersuchungen ist es noch nicht gelungen, solche fortlaufende Profile zu entdecken, in denen die Vergneisung marine Schichten von älterem als kambrischem Alter verschont hat. Aber wir kennen doch schon manche Fälle, wo inmitten kristallin gewordener Gesteine wenigstens vereinzelte Reste des damaligen Lebens zu finden sind. Die Radiolarien und Spongien im präkambrischen Schiefer von St. Lô, die im thüringer Untersilur oft kaum zu erkennenden Graptolithen, die im kristallinen „Urkalk" gelegentlich unterscheidbaren Stromarien oder Tabulaten mögen als solche Beispiele angeführt werden.

Wenn wir bedenken, daß marine Fossilien am häufigsten in feinkörnigen Gesteinen erhalten werden, daß aber gerade solche bei der Einwirkung unterirdischer Hitze und plutonischer Dämpfe besonders leicht umkristallisieren können, so werden wir uns nicht wundern, daß es so viele Fälle gibt, wo grobkörnige Gesteinstrümmer in jenen „Urgesteinen" erkennbar sind, die auf die Ablagerungen des ehemaligen Festlandes Schlüsse zu ziehen erlauben.

Die Entdeckung Sauers von scharfgesonderten Geröllen im Gneis von Obermittweida im Erzgebirge war der erste viel umstrittene Fall eines solchen Gesteins, der uns beweist, daß in präkambrischer Zeit schon trockenes Land durch Verwitterungsvorgänge und Regengüsse verändert wurde, und daß Gerölle fern von ihrer Heimat nach längerem Transport zu Konglomeraten aufbereitet wurden.

Noch viel wichtiger aber wurden die in präkambrischen kristallin gewordenen Gesteinen entdeckten gekritzten Geschiebe, die in Kanada und Südaustralien über weite Flächen des „Urgebirges" verbreitet gefunden wurden. Sie beweisen unzweideutig, daß schon damals große Schneemassen ungeschmolzen auf weiten Festländern abgelagert wurden, daß große Urgletscher aus ihrem Schoß hervordrangen und weite Flächen überschritten; daß solche in andern Gegenden schmolzen und daß ihre Grundmoräne als ungeschichteter Geschiebelehm in großer Mächtigkeit abgelagert wurde.

Es gibt in Nordeuropa auch wohlerhaltene unvergneiste Trümmergesteine aus dieser Zeit, die in großer Mächtigkeit unter dem fossilführenden Kambrium liegen und selbst wieder diskordant auf gefaltetem kristallinen Untergrund aufgelagert sind. Hier kann man solche Ablagerungen in ihren unveränderten, ursprünglichen Eigenschaften klar überschauen und wird zu der Auffassung großer Urwüsten gedrängt, in denen Vulkane und Faltengebirge, von deren Abhängen gewaltige Trümmerhalden herabglitten und die Senken mit ihrem Schutt zufüllten, zwischen weiten Niederungen aufragten. Haushohe Felsblöcke liegen regellos zwischen mittel- und feinkörnigem Material, hohe Dünen haben ihre Struktur vortrefflich erhalten, weite Senken wurden von flachen, leicht austrocknenden schlammigen Seen erfüllt, und in beständigem Wechsel schichteten sich hier Massen von mehreren tausend Metern übereinander. Keine Spur eines Lebewesens konnte bisher in diesen, für die Erhaltung selbst zarter Hartgebilde wohl geeigneten Schichten entdeckt werden im Gegensatz zu den oben erwähnten Spuren der damaligen Meereswelt.

So drängen uns zahlreiche Beobachtungsreihen zu der Auffassung, daß in jenen ältesten Zeiten der Erdgeschichte wohl das Wasser, als die gemeinsame Heimat alles Lebens, von den Ahnen der marinen kambrischen Lebewelt erfüllt war, daß aber alles Festland eine leblose Urwüste war

und daß erst in der späteren Devonperiode das Leben über dem Wasserspiegel sich verbreitete.

Seit dieser Zeitwende besteht bis zum heutigen Tage die gesamte Organismenwelt aus einer Wasserwelt und einer Landwelt, zwei Reiche von viel grundsätzlicherer Bedeutung, als die populäre Einteilung der belebten Natur in ein „Pflanzenreich" und ein „Tierreich".

Wir müssen zum Schluß noch betonen, daß autotrophes, von unorganischen Stoffen sich ernährendes Leben zuerst diesen Schritt auf das Festland unternehmen mußte, bevor die heterotrophe Welt der Bakterien, Pilze und Tiere dort ihre Nahrung fand.

53. Geologische Zeitfragen

Bei einer historischen Darstellung der Menschheitsgeschichte verlangt man nicht nur eine genaue Jahreszahl, sondern jede Zeitangabe setzt einen Anfangspunkt des Zählens und eine regelmäßig wiederkehrende Naturerscheinung voraus, mit deren Hilfe der Zeitabstand bestimmt werden kann.

Für unsere Zeitrechnung gewann weder die Reihe der attischen Archonten, noch die Zahl der olympischen Feste dauernde Bedeutung, und auch die von Hillel II. (359 n. Chr.) nach den Angaben der Genesis berechnete Weltschöpfung (3761 v. Chr.) hat nur für den jüdischen Kalender Geltung behalten.

Aber als Dionysius Exiguus nach dem Wechsel des Osterfestes und den Daten des Neuen Testaments das Geburtsjahr von Christus berechnete, schuf er den Anfangspunkt, von dem seither alle Kulturvölker ihre Jahre zählen. Eine sorgfältige Nachprüfung ergab zwar, daß Jesus einige Jahre früher geboren sein muß (die Rechnungen schwanken von 2—10 v. Chr.), aber der von Dionysius festgelegte Beginn der europäischen Zeitrechnung wurde dadurch nicht verändert.

Da der Anfangspunkt unserer Zeitrechnung erst um das Jahr 560 festgesetzt wurde, mußten alle früheren historischen Ereignisse nachträglich auf das Anfangsjahr umgerechnet werden, und so ist es begreiflich, daß sie um so unsicherer datiert sind, je weiter sie zurückliegen. Aber zwei regelmäßig wiederkehrende Naturerscheinungen können an einigen Punkten mit jenen Daten zur Deckung gebracht werden:

Eine astronomisch berechnete Sonnenfinsternis im Jahre 763 v. Chr. ist durch assyrische Texte festgelegt worden und läßt die Regierungszeit von Scharruken II. (Sargon) von Akkad auf 2684—2530 bestimmen.

Von den in der Bibel geschilderten Ereignissen ist die Schlacht bei Qarqan im Jahre 854 v. Chr. das älteste sichere Datum, während alle früheren Ereignisse wissenschaftlich nicht datiert werden können.

Das zweite, nach E. Meyer mit großer Sicherheit zu erschließende Datum ist die Aufstellung des ägyptischen Kalenders im Jahre 4241 v. Chr. Der Eintritt der Schneeschmelze in Abessynien bedingt das An-

schwellen des blauen Nil, und nachdem der Wasserspiegel Anfang Juli langsam zu steigen begonnen hat, setzt zwischen 15. und 20. Juli das Hochwasser mit 4—6 m ein. Mit der Nilschwelle begann das altägyptische Jahr. Da ursprünglich zu derselben Zeit der Sirius (Sothis) nach Sonnenuntergang aufging, aber dieser Zeitpunkt sich alle vier Jahre um einen Tag verschiebt, und erst nach 1460 Jahren wieder auf denselben Kalendertag fällt, bezeichnet man diese Zeitspanne als eine Sothisperiode. Der Anfang einer solchen ist vom 19. Juli 140 n. Chr., ein anderer vom 19. Juli 1321 v. Chr. durch historische Daten beglaubigt, und da die ägyptischen Königslisten annehmen lassen, daß vorher schon zwei Sothisperioden vergangen sein müssen, darf man den 19. Juli 4241 als den Termin bezeichnen, wo zum erstenmal das Sothisjahr am Pharaonenhof von Memphis festgelegt wurde.

Es schien nun vom anthropologischen Standpunkt einfach, diese „historischen" Daten auch für die menschliche Vorgeschichte zu ergänzen, und indem sie die Überlagerung verschiedener Typen von Feuersteinwerkzeugen im Schutt von belgischen und französichen Höhlen verglichen, versuchte zuerst Mortillet, dann Rutot, eine Anzahl von Kulturperioden zu unterscheiden und chronologisch in die von Penck und Brückner unterschiedenen einzelnen Eisvorstöße alpiner Gletscher

I. Günz-Eiszeit
Günz-Mindel-Interglazial
II. Mindel-Eiszeit
Mindel-Riß-Interglazial
III. Riß-Eiszeit
Riß-Würm-Interglazial
IV. Würm-Eiszeit
Postglazialzeit

einzuordnen.

Am weitesten in der genaueren Datierung ist wohl Blankenhorn gegangen, der folgende Zahlen gibt:

16.	Hallstadt	500—700 (1000)	v. Chr.
15	Bronzezeit	1000 (700)—2000 (1500, 1700)	„ „
14	Kupferzeit	1800—2000	„ „
13.	Robenhausien	2000—4500	„ „
12.	Campignien	4500—7500	„ „
11.	Maglemose	7500—12000	„ „
10.	Magdalénien	13500 (12000)—22000	„ „
9.	Solutrien	22000 (20000)—25000	„ „
8.	Aurignacien	25000—28000	„ „
7.	La Quina	28000—33000	„ „
6.	Micoque	33000—40000	„ „
5.	Ob. Acheuléen	40000—50000	„ „
4	Unt Acheuléen	50000—55000	„ „
3	Chelléen	55000—75000	„ „
2.	Préchelléen	75000—150000	„ „
1.	Eolithen		

Aber wenn wir fragen, weshalb Blankenhorn die Zeitdauer der einzelnen Kulturperioden bald zu 75, 20, 10, 5 oder 3 tausend Jahren rechnete, so suchen wir vergeblich nach einer wissenschaftlich befriedigenden Antwort und rein hypothetische Voraussetzungen beeinträchtigen die wissenschaftliche Bedeutung solcher Rechnungen.

Von den großen geologischen Vorgängen der Gegenwart hat man vielfach die Erscheinungen der Denudation für die Berechnung chronologischer Daten benutzt, und besonders in geographischen Werken spielen solche Zahlen eine wichtige Rolle.

Unter den bekannten Wasserfällen hat der Niagara folgende Berechnungen veranlaßt: Eine Kartenaufnahme vom Jahre 1842, verglichen mit Karten vom Jahre 1875 und 1890, ließ erkennen, daß der kanadische Fall im Jahre etwa 130—150 cm, der amerikanische etwa 25 cm zurückschreitet.

Aber es handelt sich hierbei um die Unterwaschung einer harten Kalkbank, die von Spalten durchzogen ist, und von der, je nach der Zerklüftung, kleinere oder größere Stücke herabbrechen. Die Häufigkeit und Anordnung solcher Spalten bestimmt, mehr als die Wassermenge, die Geschwindigkeit des Abbruchs an der Kante des Wasserfalles und muß bei den Berechnungen, die durch den Vergleich der Karten gewonnen wurden, berücksichtigt werden. Wenn nun die Dauer der Postglazialzeit je nach den Voraussetzungen auf 7000 (Upham), 25000 (Gilbert), 39000 (Spencer) oder 50000 (Tayler) Jahre berechnet wird, so ergibt sich aus diesen verschiedenen Angaben, daß ein auch nur einigermaßen richtiger Wert auf diesem Wege überhaupt nicht gewonnen werden kann.

Auch die Vorgänge glazialer Exaration und die durch das Schmelzen großer Eismassen bedingte Erosion sind wiederholt geologisch-chronologischen Berechnungen zugrunde gelegt worden: Aber wenn wir erwägen, daß die Zahl der diluvialen Eiszeiten und interglazialen Rückzugsperioden keineswegs feststeht, behalten alle auf einer Viergliederung des Diluvium beruhenden Zahlenangaben einen durchaus hypothetischen Charakter.

A. Penck schätzt die Dauer der einzelnen Phasen derselben folgendermaßen:

Daun-Stadium .	4000— 4500	Jahre
Pfahlbau-Stadium . . .	7000	„
Würm-Stadium	16000—24000	„

Wegen ihrer stärkeren Verwitterung und Abtragung schätzt er die

Riß-Würm-Interglazialzeit	auf	60000	Jahre und die
Mindel-Riß- „	„	240000	„

Olbricht geht von der theoretischen Voraussetzung aus, „daß die Länge der einzelnen Vereisungen eine Funktion der Maximalmächtigkeit des in ihnen gebildeten Eiskuchens sein müsse“. Nun ist das Eis längst

verschwunden, und es besteht nicht die geringste Möglichkeit, seine frühere Mächtigkeit auch nur annähernd zu messen. Aber dennoch versuchte der Autor auf Grund dieser Annahmen die einzelnen Zeiträume des Diluvium zu berechnen und kam zu folgenden Zahlen:

I. Günz	=	50000	Jahre
Interglazial		?	"
II. Mindel	=	125000	"
Interglazial		90000	"
III. Riß	=	110000	"
Interglazial		28000	"
IV. Würm	=	55000	"

Neben den Denudationsvorgängen ist öfters auch die Auflagerung solchen Berechnungen zugrunde gelegt worden: A. Heim hat zu ähnlichen Berechnungen die postdiluviale Zufüllung des Vierwaldstätter Sees an mehreren Buchten verwertet. Im Urner See wurde vom 12. 4. 1897 bis 7. 4. 1898 eine Schlammschicht von 15 mm, im Muottabecken eine solche von 80 mm abgesetzt, obwohl das letztere ein $3^1/_2$ mal kleineres Sammelgebiet besitzt. Auf Grund dieser so grundverschiedenen Werte ergab natürlich auch die postdiluviale Zufüllungszeit verschiedene Zahlen. So berechnete A. Heim zuerst einen Zeitraum von 13000 bis höchstens 36000 Jahren, seine spätere Berechnung ergab mindestens 4500 bis höchstens 48000 Jahre, und zuletzt erschienen ihm 10000 bis höchstens 28000 Jahre die wahrscheinlichsten Grenzwerte zu sein.

Bei Memphis ist der Sockel einer von Ramses II. (1292—1230) aufgestellten 13 m hohen Kalksteinstatue mit 3 m Nilschlamm bedeckt, der in 3600 Jahren abgelagert wurde, während eine Grabung darunter noch 10 m älteren dunklen Nilschlamm aufwies, in dessen Liegendem gebrannte Tonscherben gefunden wurden, deren Alter etwa 11000 v. Chr. anzusetzen wäre. Aber wenn man die so verschieden mächtigen Schichten des Nilstroms vom Delta bis nach Abusimbel verfolgt und die Lage alter Terrassen über dem Nilwasser vergleicht, dann sieht man, daß solche Zahlen nur lokalen Wert besitzen und nicht zu allgemeinen Schlüssen verwertet werden dürfen.

Einen ganz neuen Weg schlug de Geer ein, indem er die Schlammschichten zählte, welche in zahlreichen Profilen von Schonen bis Upsala aufgeschlossen und in Stauseen abgesetzt wurden, die am schmelzenden Eisrand immer neu entstanden und bei der späteren Hebung Schwedens aufs Trockene gelangten. Angeschlossen an einzelne langgestreckte Blockwälle (Os) liegen die gebänderten Tone wie Dachziegeln übereinander, und ihre Schichten entsprechen den jahreszeitlichen Schmelzperioden. So leicht es ist, die Schichten eines einzelnen Staubeckens zu zählen, so große Schwierigkeiten erheben sich aber, wenn es gilt, die Ablagerungen verschiedener Becken chronologisch zu parallelisieren, und wenn de Geer

hierbei die Mächtigkeit besonders auffallender Schichtenbänder verwandte, so fehlt doch dieser Methode jene geologische Sicherheit, wie sie durch eingeschaltete fossilführende Horizonte ermöglicht wird.

Alle diese Zahlen stimmen mit den auf anderem Wege gewonnenen Rechnungen über den zeitlichen Abstand der Diluvialzeit von der Gegenwart so wenig überein, daß sich auch hier die Frage erhebt, ob nicht die Fehlerquellen in den geologischen Voraussetzungen begründet sind, die einer jeden solchen Berechnung zugrunde liegen.

Auch organische Ablagerungen geben uns bisweilen eine Handhabe, um die Zeitdauer gesteinsbildender Vorgänge zu schätzen:

Als ich auf der von mir im Jahre 1885 im Golf von Neapel mit dem Tiefseelot aufgenommenen untermeerischen Taubenbank im Jahre 1910 erneut dredgte, konnte ich feststellen, daß große, vorher mit foraminiferenreichem Kalksand bedeckte Flächen inzwischen mehrere cm hoch mit Kalkalgen bewachsen worden waren.

Ein Korallenstock, der auf einem Kabel, das fünf Jahre zwischen Java und Sumatra gelegen hatte, gewachsen war, zeigte als untere Wachstumsgeschwindigkeit etwa 1 cm pro Jahr. Ganz ähnliche Zahlen gewann ich beim Studium von Riffkorallen auf dem Eisengerüst der Landungsbrücke im Hafen von Sabang, so daß man die Wachstumsgeschwindigkeit organischer Kalke hier direkt messen konnte.

Das Wachstum der Moore in unsern Breiten erfolgt etwa mit einer Geschwindigkeit von 1 mm im Jahr und gibt uns ein Mittel an die Hand, um festzustellen, daß der bekannte, in einer Trockenperiode entstandene Grenzhorizont etwa dem Beginn der Bronzezeit entspricht — aber mit Hilfe dieser Zahlen nun die Zeitdauer der Braunkohlenzeit oder gar der Karbonperiode zu berechnen, scheint mir ebenso unwissenschaftlich, als das Wachstum rezenter Korallenstöcke auf die Bildungszeit der alpinen Kalkmassen zu übertragen.

In den letzten Jahrzehnten haben einzelne Physiker und Mineralogen Zahlen über die Zeitdauer radioaktiver Vorgänge gewonnen und geologisch zu verwerten gesucht:

Man weiß, daß Uran und Thorium aktiv zerfallen und daß man aus der Menge der dabei gebildeten Blei- oder Helium-Atome berechnen kann, wie lange das uran- oder thoriumhaltige Mineral schon existiert. Auch hier lassen die in wissenschaftlichen Schriften veröffentlichten Zahlen leicht erkennen, daß der berechnete Spielraum oft viel größer ist, als wie die bei populären Darstellungen als Mittelwert daraus gewählte Zahl. Nach Boltwood ist ein

Thorianit	von	Sabaragamuwa auf Ceylon	2200	Mill. Jahre alt
aber der	„	Point de Galle „ „	860	„ „ „
ein Uraninit	„	Glastenburg (Conn. U. S. A.)	410	„ „ „
aber der	„	Brancheville „	535	„ „ „

Wenn diese, aus Lagerstätten derselben geologischen Periode stammenden Mineralien ein so verschiedenes Alter berechnen lassen, so wird man vorläufig auch dieser mineralogischen Zeitbestimmung geologischer Perioden mit Zurückhaltung entgegentreten müssen und abwarten, ob die auf diesem Wege gewonnenen Zahlen bleibenden Wert behalten.

Wir sind auf Grund solcher Vergleiche der Überzeugung, daß es ganz unmöglich ist, selbst den letzten Zeitraum der Erdgeschichte in Jahreszahlen auszudrücken. Damit aber fallen auch alle ähnlichen Bestrebungen, das Alter irgend einer älteren Periode zu berechnen.

Nicht die Rechnungen sind irrig, sondern es liegt allen diesen Versuchen ein grundsätzlicher Fehler zugrunde, der darauf beruht, daß man Ereignisse, die nicht biologisch bestimmt wurden und die mit keinem periodisch wiederkehrenden Vorgang zur Deckung gebracht werden können, in Zeitzahlen bestimmen will.

Das Ansehen der Geologie leidet, wenn man mit solchen, ihrem Wesen durchaus fremden Methoden Fragen zu beantworten versucht, die im Rahmen einer wissenschaftlich exakten Geologie keinen Platz haben.

Wenn wir den sicheren Boden geologischer Beobachtung nicht verlassen wollen und uns mit solchen Daten und Zahlen begnügen, die einer ernsthaften Kritik standhalten, dann kann die Geologie uns zwar mit der größten wissenschaftlichen Genauigkeit sagen, welches von mehreren erdgeschichtlichen Ereignissen älter und welches jünger ist; wir können mit Hilfe der Überlagerung fossilführender Gesteine die Schichtenfolge jedes Landes der Erde genau feststellen, wir können sie mit der Gesteinsfolge ihres Nachbargebietes vergleichen und parallelisieren, wir können eine allgemeine stratigraphische Folge des Entwicklungsganges der Erde vom Algonkium bis zur Gegenwart mit aller wünschenswerten Genauigkeit chronologisch ordnen — aber jeder Versuch, einzelne oder eine Reihe solcher Ereignisse nach Jahrtausenden zu berechnen, ist ungeologisch und läßt sich nicht vereinen mit den die geologische Arbeit beherrschenden exakten Methoden.

Wollen wir uns an Zahlen halten, so bleibt uns nur die beobachtete Mächtigkeit der Schichtenreihen. Trotzdem sich jeder gesteinsbildende Vorgang in einem Bildungsraum abspielte, dessen Ränder weniger tief eingesenkt wurden, als seine Mittelregion, obwohl in verschiedenen Bildungsräumen gleichzeitig Gesteine von verschiedener Mächtigkeit und wechselndem Aufbau entstanden, so ist doch die Mächtigkeit nicht allein der Ausdruck für die Intensität der gesteinsbildenden Vorgänge, sondern auch zugleich ein Bild der dafür nötigen Zeiträume.

Wenn wir deren Dauer auch nur gefühlsgemäß schätzen und vergleichen können, so ergibt sich doch für jeden Geologen aus der Beobachtung fortlaufender Profile eine so ungeheuer lange Dauer aller geologischen Vorgänge, daß ein neuer Zeitbegriff entsteht, der jede geologische und biologische Schlußfolgerung beherrschen muß.

Jede geologische Arbeit wird von Zeitfragen bestimmt und die chronologische Zerlegung einer Schichtenfolge ist die erste und letzte Aufgabe des Zweigs der Paläontologie, den man als Stratigraphie bezeichnet und wegen seiner großen praktischen Bedeutung für das Auffinden wertvoller Lagerstätten und wegen seiner grundlegenden Wichtigkeit für alle rein wissenschaftlichen Probleme im Laufe des vergangenen Jahrhunderts besonders gepflegt hat.

Man versuchte zunächst eine Gliederung der Erdrinde durch die Unterscheidung der darin aufgebauten Gesteine. Aber bald stellte sich heraus, daß die meisten Felsarten Dauergesteine sind, d. h. solche Ablagerungen, die unter leicht wiederkehrenden Umständen gebildet werden und daher in allen Zeitperioden mit fast gleichartigen Eigenschaften auftreten. Roter oder grüner Sandstein, blauer oder weißer Kalk, graue oder schwarze Tone sind in allen Perioden der Erdgeschichte entstanden und können daher nur für die Gliederung und Wiedererkennung der in demselben Bildungsraum entstandenen Gesteinsfolgen verwendet werden.

Obwohl manche Gesteine (Steinkohle, Buntsandstein, Muschelkalk, Kreide, Grünsand) als Bezeichnung bestimmter Zeiträume bis heute benutzt werden, so hat man doch nach einem andern Einteilungsprinzip suchen müssen, denn nur wenige Felsarten dürfen als Leitgesteine betrachtet werden, die auf eine einzige Periode beschränkt, sofort die Zeit bestimmen lassen, in der sie oder die mit ihnen wechsellagernden Nebengesteine entstanden sind.

Nachdem man aber erkannt hatte, daß die in den Gesteinsfolgen eingeschlossenen Fossilien eine ganz bestimmte chronologische Stellung haben, und nachdem man durch mühsamen Vergleich ihre normale Zeitfolge festgelegt hatte, wurden diese Leitfossilien zu den „Seitenzahlen" im Buch der Erdgeschichte, die es uns ermöglichen, selbst einen kleinen isolierten Aufschluß fossilreicher Trümmergesteine ohne Schwierigkeit in die allgemeine Schichtenfolge chronologisch einzuordnen.

Um einem weit verbreiteten Irrtum zu begegnen, müssen wir erneut darauf hinweisen, daß die leitende Natur bestimmter Fossilien nicht aus ihrer systematischen Stellung abgeleitet worden ist und werden kann, sondern nur durch ihre Einbettung in die sich überlagernden Schichten festgelegt werden konnte. Man kann einer noch nicht beschriebenen fossilen Art nicht ansehen, ob sie aus einer tieferen oder hohen Zone oder

aus einer andern Fazies stammt. Erst wenn ihre stratigraphische Lage in einer lithologisch genau untersuchten Schichtenfolge geklärt ist, kann man sie weiterhin als Leitfossil für diesen Horizont verwenden.

Aber obwohl es sich um eine rein heuristische Methode handelt, ist es doch in mühsamer, vergleichender Arbeit gelungen, den großen Schichtenstoß von 25000 m fossilführender Gesteine durch leitende Arten in größere und kleinere Abschnitte zu gliedern, und heute wird die ganze geologische Systematik von diesen biologischen Tatsachen beherrscht.

Mit Hilfe von Leitfossilien kann man ohne grundsätzliche Schwierigkeiten auch fossilleere Gesteine, die jenen eingeschaltet oder eingelagert sind, zeitlich bestimmen. Plutonische Granite, die durch ihre Dämpfe das Nebengestein verändert haben, Erzgänge, die aus heißen Lösungen entstanden, Lavadecken, fossilleere Wüstengesteine und dicht gewordene organische Kohlen oder Kalke können mit Hilfe der Fossilien, die in ihrem Nebengestein enthalten sind, mühelos in die chronologische Reihe der erdgeschichtlichen Bildungsvorgänge eingeordnet werden.

Die Methode versagt aber bei den kristallin gewordenen Gesteinen des vergneisten Grundgebirges, und daher ist es nicht möglich, darin große, scharf getrennte Perioden zu unterscheiden, die man den postkambrischen Zeiträumen vergleichen könnte, oder verschiedene Gneisarten aus verschiedenen Profilen mit Sicherheit zeitlich zu parallelisieren.

Wenn wir einen Überblick über die allgemeinen Ergebnisse der stratigraphischen Forschung zu gewinnen suchen, so fällt uns zunächst der große Gegensatz in der chronologischen Verbreitung mariner und festländischer Organismen in die Augen. Die Gesteine der drei ältesten fossilführenden Perioden: Algonkium, Kambrium, Silur enthalten zwar zahlreiche Wassertiere von hoher Organisation, aber keine häufigere Gruppe von Fossilien deutet auf luftatmende Pflanzen oder Tiere. Ob die obersilurischen Skorpionen die ältesten Vertreter der Landwelt sind oder eine amphibische Lebensweise führten, ist bisher noch nicht entschieden. Jedenfalls ist es eine geologische Tatsache, daß die vorhergehenden Urwüsten erst im Karbon voll besiedelt wurden. Die jedem Geologen wohlvertraute Tatsache, daß die ungeheuren Massen halbvermoderter Pflanzensubstanz, die in den Steinkohlenlagern aufgespeichert sind, verhältnismäßig nur wenige Spuren tierischen Lebens enthalten, ist in diesem Zusammenhang besonders wichtig, denn sie läßt uns deutlich erkennen, daß autotrophes Pflanzenleben immer dem heterotrophen Tierleben die Wege bahnte.

Aber auch in der Folgezeit bleibt ein Gegensatz zwischen Wasseratmern und Luftatmern bestehen. Deutlich erkennen wir, daß die festländische Flora zu anderen Zeiten ihre größeren Umwandlungen erleidet wie die Fauna des Ozeans.

Wenn man die Erdgeschichte nach dem Neuauftreten und Verschwinden großer bezeichnender Lebensgenossenschaften einteilt, so ergibt sich ungefähr folgendes Bild:

Einteilung der geologischen Zeitalter auf Grund der:

Meerestiere	Lagerung	Landpflanzen	Landtiere
	12. Gegenwart		
Neuzeit	11. Diluvium 200 m	Angiospermen	Säuger und Vögel
Kaenozoikum	10. Tertiär 2200 m		
	9. Kreide 2500 m		
Mittelzeit	8. Jura 1100 m		Reptilien
Mesozoikum	7. Trias 2500 m	Gymnospermen	
	6. Perm 3000 m		Stegocephalen
Altzeit	5. Karbon 7200 m	Lycopodialis	
Palaeozoikum	4. Devon 4000 m	Psilophyten	
	3. Silur 1800 m		
	2. Kambrium 400 m	nach W. Gothan	nach Broili
Urzeit	1. Algonkium 5000 m		
Archaeozoikum	Kristalline Schiefer 15000 m		

In einem einzigen Fall stimmt allerdings der grundsätzliche Wandel des marinen und des festländischen Tierlebens merkwürdig überein. Das ist am Ende der Kreidezeit, wo ein großes Sterben charakteristischer Mollusken (Ammoniten, Belemniten, Rudisten) mit dem Verschwinden nicht allein der an das Leben im Meer angepaßten Reptilien, sondern auch der während der ganzen Mittelzeit herrschenden Geschlechter der

Mosasauria, Ichthyosauria, Sauropterygia, Teleosauridae, Thalattosuchia zusammenfällt. Es ist schwer, äußere Umstände für diese auffallende Übereinstimmung verantwortlich zu machen, und das vorliegende Problem ist vielleicht am meisten geeignet, die inneren biologischen Zusammenhänge differenzierter Lebensvorgänge zu verdeutlichen.

Wenn wir uns aber allein an die Wasserwelt halten, so bietet sich uns von den Synusien des gegenwärtigen Weltmeers bis hinab zu den ältesten bekannten Faunen des Kambrium ein merkwürdig einheitliches Bild. Trotz eines beständigen Fazieswechsels der sich überlagernden Gesteine und des damit zusammenhängenden Faunenwechsels bleibt die monophyletische Kontinuität der gesamten Wasserwelt völlig gewahrt. Ein verwickeltes Bild abzweigender Familien und Ordnungen; ein bald rasches, bald langsames Hervorsprossen neuer Zweige; eine in wechselndem Tempo aufsteigende oder absteigende Differenzierung der Organe; ein allmähliches Verlöschen oder rasches Auslöschen blühender Gruppen läßt sich überall erkennen, und oft ist die Parallelität solcher organischen Vorgänge mit dem Wechsel der Umwelt so auffallend, daß man an ursächliche Beziehungen denken muß — aber die ununterbrochene Einheit der im Wasser des Weltmeers lebenden Tierwelt ist trotz allen Wechsels der äußeren Umstände unzweifelhaft.

Der Zoologe und Botaniker, der die Verbreitung einzelner Arten oder ganzer Synusien auf der heutigen Erdoberfläche verfolgt, lernt nur einen Querschnitt durch eine lange Kette biologischer Vorgänge und beständig wechselnder Zustände kennen. Zwar sieht er gelegentlich eine Tierform ihren eigentlichen Lebensraum verlassen und die Grenzen ihrer geographischen Verbreitung überschreiten. Noch häufiger beobachtet der Botaniker, daß Pflanzenformen weit über ihren Standort verbreitet werden, aber gerade hier tritt das lokale Klima immer wieder als Grenzenbestimmender Faktor ein und verhindert die unbeschränkte Verbreitung bodenständig gebundener Arten.

Ein ganz anders geartetes und unendlich reicheres Tatsachenmaterial enthüllt sich vor dem Auge des denkenden Paläontologen, der nicht nur die kurze Spanne der alluvialen Gegenwart, sondern die lange Reihe vorzeitlicher Epochen in einem größeren Aufschluß überschaut. Was der Tier- und Pflanzengeograph theoretisch erschließen oder intuitiv erraten muß, liegt klar vor seinen Augen ausgebreitet, und ohne Mühe kann er aus fortlaufenden Profilen herauslesen, welche tier- und pflanzengeographischen Ereignisse an dem betreffenden Fundort während eines kürzeren oder längeren Zeitraums eingetreten sind.

Die schwankenden Grenzen des rezenten Verbreitungsgebiets bestimmter Synusien verwandeln sich im geologischen Profil in eine stratigraphisch umstrittene Zwischenfauna, in der bald das eine, bald das andere Faunenelement überwiegt.

Allerdings erkennen wir bei genauer geologischer Prüfung der Schichtenfolge und ihres Fossilgehaltes in der Regel, daß diese Mischung nur eine scheinbare ist. Sobald wir die im Schutt einer Verwitterungsdecke oder auf der Halde eines Bergwerks zufällig gemischten Arten nicht als eine biologische Einheit betrachten, sondern den Fossilgehalt jeder einzelnen, lithologisch verschiedenen Gesteinsschicht im frischen Aufschluß der wirklichen Schichtenfolge für sich betrachten, ergibt sich in der Regel, daß die Fossilien ebenso wie die Gesteine miteinander wechsellagern, daß übereinander, also zeitlich nacheinander die Grenzen der benachbarten Faziesgebiete beständig schwankten und daß mit diesem immer wieder einsetzenden Fazieswechsel auch die Standorte der darauf lebenden Bodenwelt regelmäßig verlagert wurden.

Von diesen oszillatorischen Veränderungen des Lebensraumes bestimmter Synusien, die um eine Mittellage herum bald nach der einen, bald nach der andern Seite schwankten, müssen wir die biologischen Transgressionen in der Erdgeschichte grundsätzlich unterscheiden.

Wir werden diese transgredierenden Vorgänge noch eingehend zu schildern und zu erläutern haben und können hier nur eine wesentliche Eigenschaft derselben hervorheben, nämlich die mit ihnen verbundene, grundsätzliche und regional meist ungemein weitreichende Umgestaltung der gesamten Fauna. Es handelt sich hierbei keineswegs immer um eine bloße Vernichtung der älteren und eine danach folgende Einwanderung einer völlig neuen Synusie — denn oft kommt die ältere Fauna in einem höhern Horizont wieder an ihre einstigen Wohnplätze —, sondern oft nur um ein Auswandern und Wiederzurückkehren einer bestimmten Lebensgenossenschaft, und die neue Lebewelt erobert zwar den Lebensraum der vorigen Fauna, aber diese kann in irgend einem andern, oft weit entfernten Wasserbecken weiterleben.

Es ist daher nicht richtig, solche örtlichen, unvermittelten Faunenveränderungen als „Katastrophen“ zu bezeichnen, und wir haben dafür den Ausdruck Anastrophe vorgeschlagen, der nicht so sehr die Vernichtung als die grundsätzliche biologische Veränderung des Faunenbildes hervorheben soll.

Während die Biogeographie der Vorzeit die räumliche Verbreitung kleiner und großer Synusien erforschen und überschauen läßt, eröffnet uns die systematische Zusammensetzung der einzelnen Lebensgenossenschaften ebenso interessante Einblicke in die tiergeographischen Wanderungen und entwicklungsgeschichtlichen Umgestaltungen ganzer Floren, Faunen oder einzelner Gruppen und Gattungen.

Dem Paläontologen, dem neben den Vorfahren der rezenten, mit Hartgebilden versehenen Tiere eine große Zahl völlig ausgestorbener Gruppen überliefert ist, hat sich die paläontologische Systematik in einer andern Richtung gestaltet, wie dem Zoologen. Denn der geologische Wert

zahlreicher, in der heutigen Lebewelt dominierender Tiergruppen ist wegen ihrer vergänglichen Hartgebilde gering, während andere, dem Zoologen weniger bekannte Formenkreise, besonders aus dem Kreis der Mollusken, um so wichtiger erscheinen.

Zudem hatten nicht alle Tiere die gleiche Möglichkeit, sich über große Lebensräume zu verbreiten. Mag diese Verbreitung durch die planktonischen Jugendformen mariner Tiere oder erst nach ihrem Tode durch den passiven Transport leerer Schalen geschehen — ein Leitfossil hat stets eine unermeßlich größere Fläche überstreut, als seine gleichaltrigen Lebensgenossen.

Daher kommen für den Paläontologen besonders folgende Tiergruppen in Frage (ein + bezeichnet die Zeiten besonderer Häufigkeit):

	Kambrium	Silur	Devon	Karbon	Perm	Trias	Jura	Kreide	Tertiär
Foraminiferen . .				+	+			+	+
Graptolithen . . .		+							
Crinoiden						+	+		
Echiniden							+	+	
Brachiopoden . .	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Muscheln		+	+	+	+	+	+	+	+
Cephalopoden . .		+	+	+	+	+	+	+	
Trilobiten	+	+	+						

Wenn wir uns an diese Formenkreise halten, lassen sich folgende allgemeinen Sätze über ihr historisch-geologisches Auftreten aufstellen:

Wir erkennen bei aller Verschiedenheit in der systematischen Zusammensetzung der sich chronologisch folgenden Faunen doch deutlich, daß der Wandel des Lebens sich überall durch allmähliche „Substitution“ der einzelnen Arten und Gattungen vollzieht. Der Faunenersatz erfolgt also nicht in scharfen ebenen Grenzflächen, die den Eindruck einer Unterbrechung der Erbfolge hervorrufen könnten, sondern jede neue Lebewelt erscheint zunächst in vereinzelten Vorposten, die sich vermehren, ihre Lücken schließen und durch schrittweise Ausschaltung älterer Formen allmählich die geschlossene Schicht einer neuen, nur bei flüchtiger Betrachtung „unvermittelt“ erscheinenden Synusie bilden.

Diese Erscheinung hat zur Folge, daß man unter dem Eindruck solcher Übergangsfaunen immer wieder versucht hat, besondere Grenzformationen auszuscheiden und mit stratigraphischen Namen zu be-

zeichnen. Die Herzynformation an der Grenze Silur-Devon, die Permokarbon-Schichten Indiens, die Rhätschichten zwischen Trias und Jura, sowie die Tithonformation an der oberen Kreidegrenze sind der äußere Ausdruck für solche stratigraphisch-faunistische Übergänge.

Indem wir von den allgemeinen Endergebnissen umfassender vergleichender, stratigraphischer Untersuchungen ausgehen, tritt uns zuerst die Tatsache entgegen, daß die verschiedenen sich allmählich ersetzenden Faunengenossenschaften, die in den seit dem Kambrium gebildeten 25000 m Schichtgesteinen enthalten sind, sich leicht in vier große Gruppen oder geologische Zeitalter einteilen lassen. Wir müssen betonen, daß es sich bei dieser Einteilung keineswegs um ein von theoretischen Gesichtspunkten ausgehendes Schema, sondern wie bei allen Ergebnissen stratigraphischer Arbeit um Erfahrungssätze handelt, deren biologische Auswertung eine Fülle weiterer Probleme an den Biologen stellt.

Man teilt die Schichtenfolge der die Erdrinde zusammensetzenden Gesteine demnach in vier große Zeitalter ein:

4. Kaenozoikum oder Neuzeit
3. Mesozoikum oder Mittelzeit
2. Palaeozoikum oder Altzeit
1. Archaeozoikum oder Urzeit.

Jedes dieser Zeitalter läßt sich durch das Vorherrschen bestimmter mariner Tiergenossenschaften von systematischer Eigenart ebenso kennzeichnen, wie durch das Fehlen oder Zurücktreten von andern Faunen, die in den benachbarten „Formationen" herrschen.

Es harmoniert mit den Erfahrungen der Entwicklungslehre, daß die heute herrschenden Formenkreise in den jüngeren Perioden allgemein verbreitet sind, daß sich ihnen mit zunehmendem Alter immer mehr ausgestorbene Gruppen zugesellen, und es ist bezeichnend, daß solche in der Urzeit die Mehrzahl der Lebewesen ausmachen.

Aber immer wieder müssen wir darauf hinweisen, daß innerhalb der durch leicht erkennbare Fossilien chronologisch zu gliedernden Schichtenreihe von etwa 25000 m kein allgemeiner Fortschritt von niederen zu hohen bei den wasseratmenden Tierformen erkannt werden kann. Die Organisationsstufe der kambrischen Meeresfauna ist ebenso hoch, wie diejenige der folgenden Perioden bis zur Gegenwart. Nur die systematische Zusammensetzung der einzelnen Synusien ist zeitlich leicht zu unterscheiden.

Da wir schon betont haben, daß der erdgeschichtliche Wechsel der Synusien niemals durch ein katastrophales Aussterben älterer und eine plötzliche Neuschöpfung jüngerer Formenkreise, sondern immer nur durch substituierenden Formenersatz erfolgt, sind scharfe Grenzen zwischen den Zeitaltern der Erdgeschichte nicht zu ziehen und Grenzbildungen

mit Grenzfaunen machen es oft schwer, den biologischen Hiatus des Formenwandels mit aller Sicherheit in jedem Profil zu finden — aber das ungeheuer umfassende Beobachtungsmaterial, über welches die vergleichende Stratigraphie verfügt, läßt doch gewisse allgemeine Sätze aus der Mannigfaltigkeit der Fauna herausschälen:

IV. Die Neuzeit, Kaenozoikum, zerfällt in

12. Gegenwart
11. Diluvium
10. Tertiär

und wird durch die noch heute herrschenden Tiergruppen als einheitliche Bildungszeit gekennzeichnet. Säugetiere, Vögel, Insekten herrschen auf dem Festland; Knochenfische, Dekapoden, Schnecken, Muscheln, Hexakorallen, planktonische Foraminiferen und Radiolarien bestimmen die Meeresfauna durch ihre Formenfülle und Personenzahl.

III. Die Mittelzeit, Mesozoikum, zerfällt in

9. Kreide
8. Jura
7. Trias

und unterscheidet sich von den jüngeren Perioden durch das Dominieren einer grundverschiedenen Fauna. Neben den allmählich auftretenden Knochenfischen sind besonders in den älteren Formationen die Ganoiden und mit ihnen eine Anzahl marin gewordener Reptiliengruppen, wie Pythonomorphen von biologischer Bedeutung. Aber bestimmend für die damaligen marinen Synusien sind die Belemniten und Ammoniten, sowie in der Kreidezeit die eigenartigen Nebenformen der letzteren. Unter den Muscheln fallen uns die festgewachsenen Rudisten und die riesigen Inoceramen auf. Artikulate Brachiopoden spielen eine große Rolle und manche Crinoiden wachsen in solchen Scharen, daß ihre Trochiten ganze Bänke erfüllen.

II. Die Altzeit oder das Palaeozoikum zerfällt in

6. Perm
5. Karbon
4. Devon
3. Silur

und läßt sich durch Selachier, Ganoiden und Panzerfische charakterisieren. Mit abnehmender Zahl sind die eigenartigen Urkrebse (Trilobiten) verbreitet. Muscheln und Schnecken treten gegenüber den Brachiopoden sehr zurück; statt der stockbildenden Hexakorallen der jüngeren Zeiträume herrschen die als Einzelpersonen oder in lockeren Stöcken wachsenden Tetrakorallen und mit ihnen die aussterbenden Tabulaten, Helioporiden, die silurischen Graptolithen und Stromarien. Viele reich differenzierte Crinoiden beleben

alle Meere und die seltsamen Rezeptakuliten, die Tentaculiten und Hyolithen sind weit verbreitet; altertümliche planktonische Foraminiferen sind im Karbon und Perm ungemein zahlreich.

Die meisten Lehrbücher schließen an das Silur noch das Kambrium und Algonkium an, aber berücksichtigen dabei nicht den grundsätzlichen Faunenwechsel, der mit der Untersilurzeit einsetzt. Denn alle von 3—12 verbreiteten Klassen und sogar die Unterklassen derselben sind, außer wenigen absterbenden Zweigen älterer Typen, von überraschender Einheitlichkeit der Organisation. Wir können sagen, daß die Fauna der Gegenwart durch einheitliche phyletische Leitlinien mit derjenigen des Untersilur ununterbrochen verbunden ist

Wenn auch die biologische Einheit des Lebens durch eine Anzahl Formen von der Silurzeit bis zur kambrischen Tierwelt einwurfsfrei bewiesen wird, so wird doch die letztere durch eine ganze Anzahl so fremdartiger, in jener Übergangszeit schon aussterbender Formenkreise bestimmt, daß wir es für notwendig halten, zwischen Untersilur und Kambrium eine grundsätzliche Zeitgrenze zu ziehen und das Kambrium als die letzte Phase einer älteren Ära zu betrachten.

I. Urzeit oder Archaeozoikum:

2. Kambrium
1. Algonkium

untere Grenze der Fossilführung.

Kristallin gewordene und daher fossilleere ältere Gesteine.

In Mitteleuropa ist das Kambrium recht fossilarm und die wenigen hornschaligen Tierformen, die allerdings oft in großer Personenzahl diese Schichten erfüllen, deuten auf abgesonderte Becken, die vielleicht nur unvollkommen mit dem damaligen Weltmeer verbunden waren, dessen Ablagerungen außerhalb Europas jene Fülle sonderbarer Tiergeschlechter enthält, die den Lebensinhalt dieser Zeit bezeichnen. In Schottland, Sardinien, Ostasien, Australien und besonders in Nordamerika sind diese Faunen reich entfaltet, und ihre seltsamen Formenkreise lassen sich nicht in das System der vom Silur bis zur Gegenwart verbreiteten Tierklassen einordnen.

Der Hauptunterschied gegenüber dem Silur ist das vollkommene Fehlen der dort so kosmopolitisch verbreiteten Graptolithen. Aber auch die rugosen Korallen, Tabulaten und Helioporiden fehlen. Cephalopoden sind nur durch die kleine Gattung Volborthella, Schnecken nur durch einige hornschalige, an Patella erinnernde Formen vertreten und von den im Silur so ungemein zahlreichen Trilobiten sind nur wenige Gattungen, allerdings ziemlich individuenreich, verbreitet. Ganz fremdartig und mit keinem der jungen Geschlechter vergleichbar sind die Archaeocyathiden,

die auf Sardinien wie in Südaustralien und in der Antarktis ganze Berge zusammensetzen; dann die Salterellen, die in Schottland und Nordaustralien gesteinsbildend gefunden werden. Ungemein formenreich waren die Brachiopoden, allerdings vorwiegend aus der Gruppe der Inartikulaten.

Wenn wir alle diese fremdartigen Tierformen, die nur mit wenigen auch im Silur weiterlebenden Gruppen gemischt sind, als biologische Einheit betrachten, dann setzt sie erstens eine lange Ahnenreihe voraus, deren Vertreter in den kristallin gewordenen Schichten des Grundgebirges einst verteilt gewesen sein müssen. Andererseits aber geben sie der kambrischen Fauna einen so eigenartigen Charakter, daß wir die Grenze des Palaeozoikum an die Unterkante des Silur legen und das Kambrium als die letzte Formation einer älteren primordialen Urzeit des Archaeozoikum betrachten.

Wenn wir tiefere Regionen der Lithosphäre untersuchen, dann kommen wir regelmäßig an eine Grenze, wo entweder mit scharfer Diskordanz die Oberkante der kristallinischen Schiefer auftritt, oder wo wir in allmählichen Übergängen den Gegensatz fossilfreier Ganggesteine und fossilführender Schichten verschwinden sehen. Die vorher wohl erkennbaren Versteinerungen werden undeutlich und ihre Umrisse sind nur noch auf angewitterten Flächen erkennbar. Dann hören sie ganz auf und zugleich ändert sich die mikroskopische Struktur des Gesteins. Die kleinen Bruchflächen der klastischen Elemente heilen aus, neue Mineralien entstehen in wohlausgebildeten Kristallen, und je mehr wir gegen die innersten Teile denudierter Faltenkerne hinabdringen, desto vollkristalliner werden die Felsarten. Gänge und Stöcke grobkristallinischer, plutonischer Gesteine treten auf, drängen sich zwischen die kristallin gewordenen Schichten, lösen sich scheinbar in ihrem eignen Magma auf und verschränken flötzförmige und gangförmige Lagerung so innig miteinander, daß man oft im Zweifel sein kann, ob ein gebanktes Ganggestein oder ein erweichtes, in Spalten gepreßtes Sediment vorliegt.

Statt der regelmäßigen Folge geschichteter Gesteinsarten sehen wir in jedem benachbarten Profil andere Gesteine sich überlagern. Nur selten können wir dieselbe Bank, denselben Gang über eine längere Strecke verfolgen. Die Grenzen der Gesteine sind oftmals so verschwommen, daß wir sie kaum unterscheiden können, und neben eng gefalteten Gangadern finden wir durch Streckung zerrissene Schichten. Überall treten uns die Wirkungen großer Hitze, chemischer Verwandlung, lebhafter oder langsamer Druckkräfte entgegen.

Betrachten wir die stratigraphische Lage der Region, in welcher die kristallinischen Schiefer erscheinen, so lagern dieselben meist tief unter den ältesten versteinerungsführenden kambrischen Schichten. Allein man kennt doch auch Profile, wo die Herrschaft der kristallinischen Schiefer in höhere Regionen hinaufreicht und man von „jüngeren“ kri-

stallinischen Schiefern zu sprechen pflegt. Wir nennen die Übergangszone zwischen den fossilführenden hangenden Erdschichten und den darunter liegenden kristallinischen Schiefern die untere Grenze der Fossilführung oder die agnostozoische Grenze und versuchen in folgender Tabelle, die allerdings nur Annäherungswerte darstellt, ihre Lage in verschiedenen Profilen darzustellen; ein · bedeutet fossilführende Schichten, ein — kristallinische (metamorphe) Schiefer.

	Elba	Ekuador	Kreta	Preßburg	Savoyen	Steiermark	Ardennen	Bergen	Frankenwald	Böhmen	Kolorado
Alluvium	×	×	·	·	·	·	·	·	×	·	×
Diluvium	×	×	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Tertiär	× —	× ×	× ×	· ·	· ·	· ·	· ·	· ×	· ×	× ×	· ×
Kreide	— —	× ×	× ×	× ×	× ×	× ×	× ×	× ×	× ×	× ×	× ×
Jura	— —	— —	× —	× —	× ×	× ×	× ×	× ×	× ×	× ×	× ×
Trias	— —	— —	— —	— —	· ×	× ×	× ×	× ×	× ×	× ×	× ×
Perm	— —	— —	— —	— —	— —	× ×	· ×	× ×	× ×	× ×	× ·
Karbon	— —	— —	— —	— —	— —	× —	× ×	× ×	× ×	× ×	× ×
Devon	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	× —	× ·	× ×	× ×
Silur	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	× ×	× ×	× ×
Kambrium	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	× ×	× ×
Algonkium	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	× ×
Grundgebirge	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —

Wenn die agnostozoische Grenze stratigraphisch eine ganz verschiedene Lage hat, wenn mit anderen Worten die Ablagerungen der verschiedensten Zeitperioden im Gewande von kristallinischen Schiefern auftreten können, dann folgt ohne weiteres, daß die einheitlichen Eigenschaften dieser „Urgesteine" nicht als Wirkungen gleichzeitiger Vorgänge aufgefaßt werden dürfen, daß sie vielmehr durch nachträgliche Umwandlungen entstanden sind.

Betrachten wir die Gesteine, die in der über 10000 m mächtigen Schichtenfolge des kristallin gewordenen Grundgebirges enthalten sind, so enthüllt sich unserem Auge unterhalb der agnostozoischen Grenze ein neues verwickeltes Bild seltsam verwandelter, aber ursprünglich verschiedenartiger Gesteine.

Plutonische Stöcke, plutonische Lager, plutonische Gänge, vulkanische Decken, vulkanische Gänge, vulkanische Tuffschichten, Konglomerate, Sandsteine, Tongesteine, organische Kalke, organische Kohlen, chemische Ganggesteine und zahlreiche andere Felsarten setzten einstmals die Formationen zusammen, die in ungeheurer Mächtigkeit übereinandergeschichtet in gewaltigen Geosynklinalen aufgehäuft wurden. Langsam tauchten die älteren Schichten unter der Last neuer Decken hinab, durchschritten die verschieden heißen Zonen bis hinab zu den aufsteigenden Magmaherden und wurden dort mit diesen verbunden. Das ganze System wurde dann durch Faltung durcheinandergeknetet, die ursprünglichen Zusammenhänge wurden zerrissen, große und kleine Linsen glitten aneinander entlang, und indem die Kälte des Weltenraumes bei der folgenden Abtragung langsam wieder hinabdrang, wanderten die Gesteine in umgekehrter Reihenfolge durch die Temperaturzonen der Lithosphäre hindurch. Wiederum ändert sich ihr Mineralbestand, und wenn wir sie jetzt zutage anstehend beobachten, dann finden wir, wie auf einem „Palimpsest", die alte Schrift vertilgt, neue Charaktere darübergezogen, und nur ganz vereinzelte Funde geben uns Rechenschaft von den einstigen Eigenschaften des metamorphischen Gebietes.

Kristallinische Schiefer sind zu allen Zeiten entstanden und entstehen noch jetzt in den Geosynklinalen tief unter den Regionen intensiver Ablagerung. Wenn unser Auge befähigt wäre, in die abyssalen Tiefen der Erdrinde hinabzublicken, so würden wir unter den Wasserbecken des Meeres wie unter den Depressionen der Wüste noch heute die Vorgänge belauschen können, die in der Rotglut der Glimmerschieferzone oder in der Weißglut der Gneiszone wärmebindend und wärmebefreiend in wechselndem Lichtglanz die Gesteine verändern. Wir würden die aufsteigenden Magmaherde wie leuchtende Flammensäulen langsam zwischen aufblätternde Schichtenfugen hineindringen sehen, überall zuckten blitzartige neue Gangbildungen auf, und alte Gänge würden sich schlangengleich durcheinanderwinden. Erst wenn dieses grandiose Feuerwerk typhonischer und plutonischer Bewegungen erloschen und zur Ruhe gekommen ist, kann unser Auge ihre Wirkungen untersuchen, und dann enthüllt sich ihm ein so verwickeltes System regelloser und doch gesetzmäßiger Bewegungen von Atomen und Molekülen, von biegsamen Kristallen und flüssigen Mutterlaugen, von erweichten Schichten und zerrissenen Gängen, daß noch ein weites Feld der Untersuchung harrt.

Aber eins folgt mit entmutigender Klarheit aus dem Gesagten: *Die Erde hat immer wieder ihre eigenen Dokumente zerstört.* Von den älteren Perioden sind uns nur kümmerliche Schriftzüge, zerfallene Baudenkmale, vergriffene und abgenutzte Münzen erhalten, die zu entziffern oftmals trotz aller Mühe nicht gelingen wird.

Nach den soeben entwickelten Grundsätzen dürfen wir beim Anblick einer Gneis- oder Glimmerschieferregion, eines Granitgebietes oder eines Marmorlagers also nicht von „Urgebirgsfelsarten" sprechen, und dürfen die kristallinischen Schiefer auch nicht als „azoische" Gesteine bezeichnen.

Wir werden auch nicht jedes Gneisgebiet ohne weiteres als ein präkambrisches Festland betrachten und dürfen die Gneisformationen verschiedener Länder nicht für gleichzeitige Bildungen halten.

Vielmehr sehen wir in den kristallinischen Schiefern des Grundgebirges die immer wieder vernichteten und fossilleer gewordenen Schichtenfolgen der Urzeit.

Große Schwierigkeiten erheben sich, wenn wir nach den in der oberen fossilführenden Trümmerzone bewährten Grundsätzen das *kristalline Grundgebirge* zu gliedern versuchen. Der Schichtenbau der aufgelagerten Trümmergesteine und die durchgreifende Lagerung der sie schneidenden Gänge oder in sie eingepreßten Stöcke der Tiefengesteine ist unkenntlich geworden. Leitende Fossilien sind verschwunden und nur selten erinnert eine undeutliche Spur, oder Kalke und Kohlengesteine, an organisches Leben.

Große Diskordanzen lassen sich zwischen gewaltigen Gesteinsmassen über weite Flächen verfolgen, konglomeratische Einschaltungen erlauben oft eine gute Gliederung, aber die Schichtenfolge der einzelnen Länder und jedes kristallinen Massivs ist so eigenartig, daß man die Gesteinsfolge in Skandinavien mit der in Böhmen kaum parallelisieren kann und daß das so gründlich untersuchte Grundgebirge von Kanada ganz andere Gruppen unterscheiden läßt, als das ebenso genau bekannte Gneisland von Ostindien oder Südafrika.

So ist es auch ungemein schwer, genaue Mächtigkeitszahlen für diese Gesteine der Urzeit zu geben und nur die häufig wiederkehrende Größenordnung von vielen tausend Metern gibt uns einen Anhalt dafür, daß im *kristallinen Grundgebirge ein noch viel längerer Zeitraum* gesteinsbildender Vorgänge enthalten ist als in der fossilführenden Schichtenfolge der hangenden Trümmerzone.

So werden wir auch keine theoretische Schwierigkeit in der Tatsache finden, daß wir im unteren Kambrium, bisweilen sogar in den obersten Schichten des darunter liegenden Algonkium die Vertreter hochentwickelter Tiergruppen von ganz eigenartiger Organisation finden, die eine ebenso lange Ahnenreihe voraussetzen, wie wir sie in der rezenten Fauna bis hinab zum Untersilur verfolgen können.

Nach dem früher Gesagten erscheint uns jetzt auch die tiefste, glasige und schlierige Magmazone, aus der die plutonischen und vulkanischen Massen unter dem Einfluß hochgespannter Gase empordringen, in einem neuen Licht. Wir sehen in diesen aufdringenden Glasmassen die noch heute glühenden Überreste der ältesten Erdrinde, die sich seinerzeit nur in glasiger Erstarrungsform bilden konnte und die im Laufe langer Perioden unter dem Einfluß externer, solarer und lunarer Kräfte von der beständig nach außen wachsenden Trümmerzone der äußeren Lithosphäre bedeckt wurde.

Die chronologische Gliederung der Erdrinde in eine obere, durch leitende Fossilien und für die großen Zeiträume der Erdgeschichte bezeichnende Lebensgenossenschaften in zwölf Perioden zerfallende Trümmerzone von im ganzen 25000 m Mächtigkeit und eine ältere kristalline Zone, deren Mächtigkeit ebenfalls auf 15000—20000 m geschätzt wird, läßt uns zwar keine Zahlen, aber doch ein allgemeines Urteil über die Länge geologischer Zeiträume und das Alter des auf der Erde blühenden organischen Lebens abgeben.

Literatur

Agassiz, Alexander, On the Rate of Growth of Corals. Bull. Museum of Comparative Zoology Harvard College Vol. XX, Nr. 2, Cambridge 1890. — Barrell, Joseph, The Nature and Environment of the Lower Cambrian Sediments of the Southern Appalachians. Americ. of Science Vol. IX, January 1925. — Blankenhorn, Die Steinzeit Palästina—Syriens und Nordafrikas. Das Land der Bibel. III. 5. 1921. — Boltwood, Sill. Amerik. Journal 1907. 87. — Chamberlain und Salisbury, Geology. 1906. III. 419. — Darwin, G., Ebbe und Flut im Sonnensystem. XVI. — Deecke, W., Das Vikariieren der Organismen in der geologischen Vergangenheit. Zeitschr. d. D. Geol. Ges., Bd. 78, Jahrg. 1926. — de Geer, Geochronologie der letzten 12000 Jahre. C. Rend. du Congrès géologique Stockholm 1910. I. 241. — Gilbert, G. K., C. Rend. du Congrès géologique intern. Washington 1893. 455. — Gilbert, K., Sedimentary Measurement of Cretaceous Time. Journal of Geology, Chicago. Vol. III., Nr. 2, 1895. — Gilbert, K., Rate of Recession of Niagara Falls. Bull. U. St. A. S., Nr. 306. 1907. — Ginzel, Handbuch der mathem. und technischen Chronologie. 1914. III — Häberle, D., Beobtungen über das Wachstum von Stalaktiten. Mitteil. a. d. Geol. Institut der Universität Heidelberg. Neue Folge Nr. 28, 1918. — Heim, A., Der Schlammabsatz am Grunde des Vierwaldstädter Sees. Ver. d. Naturf. Ges. Zürich 1900. Nr. 10. — Holmer, Proc. Roy. Soc. London 1911. 248. — Horner, On alluvial land of Egypt. Philos. Trans. Roy. Soc. London 1855. I. — Koenigsberger, J., Berechnungen des Erdalters auf physikalischer Grundlage. Geol. Rundsch. Bd. I, Heft 5. 1910. — Lemoine, Paul, Quelques experiences sur la croissance des algues marines a Roscoff. Bull. de l'imt. océanogr. de Monaco, Nr. 271, 1913. — v. Lozinski, Val. Ritt., Die chemische Denudation ein Chronometer der geologischen Zeitrechnung Mitt. d. k. k. Geogr. Ges. in Wien. 1901. Heft 3 u. 4. — Meyer, E., Ägyptische Chronologie. Abh. Preuß. Akad. d. Wissensch. Berlin 1904. — G. u. A. de Mortillet, Le Préhistorique. 1900. — Olbricht, Naturw. Wochenschrift. Jena 1922. 376. — Penck, Albrecht, Das Alter des Menschengeschlechtes. Zeitschr. f. Ethnologie. Heft III, 1908. — Penck und Brückner, Die Alpen im Eiszeitalter. 1909. — Ratzel, Friedr., Die Zeitforderung in den Entwicklungswissenschaften. Ostwalds Annalen der Naturphilosophie. Leipzig. — Rutot, Géologie et Préhistoire. Soc.

belg. de géologie Mém. XX. 1906. — Spencer, J. W., The Falls of Niagara. Ottawa 1907. 370. — Sueß, Eduard, Über den Begriff Zeit in der Geologie. Vortrag, gehalten am 16. März 1863. — Wehrli, Leo, Einige Zahlbegriffe aus der Erdgeschichte. Deutscher Frauenverein in Buenos-Aires. 21. Aug. 1897. — Wilckens, Otto, Der Niagarafall. Geol. Rundsch., Bd. X, Heft 1. 1919.

54. Die paläontologische Zone als Zeitmaß

Sehr alt sind die Versuche, leitende Fossilien nicht allein zum Gliedern einer größeren Schichtenfolge zu benützen, sondern auch mit ihrer Hilfe verschiedene Schichtenfolgen zu vergleichen, um ihr relatives Alter festzustellen oder absolute Werte zu gewinnen, um die Zeitdauer geologischer Erscheinungen damit zu messen. Wir haben schon im Abschnitt 9 einige in diesem Zusammenhang grundsätzliche Probleme behandelt und wollen jetzt die Zeitfrage etwas eingehender betrachten.

Man teilt die einzelnen Abschnitte einer großen Gesteinsreihe in Zonen ein und versteht unter einer Zone eine Gesteinsschicht mit fossilen Arten, die sich phyletisch aus dem Fossilgehalt des Liegenden ableiten lassen und deren Nachkommen im Hangenden gefunden werden.

Jeder Versuch, die Verteilung einer bestimmten Tier- oder Pflanzengruppe in der fortlaufenden Schichtenfolge zum Vergleichen entlegener Fundstellen oder zur Bestimmung des Zeitabstandes zu verwenden, hängt auf das engste mit der Frage nach deren Lebensweise zusammen.

Nach den Grundsätzen der ontologischen Methode betrachten wir daher zunächst einige in ihrer Lebensweise gut bekannte rezente Formenkreise, um uns dann den völlig ausgestorbenen Gruppen zuzuwenden, die zur Zonengliederung mit Erfolg benutzt werden und bei denen wir die Lebensweise aus ihrer Schalenstruktur, Verbreitung und Einbettung erst erschließen müssen.

Da die Stratigraphie eine rein heuristische Disziplin ist, bei der nicht theoretische Gesichtspunkte, sondern die tatsächliche Häufigkeit und zonare Verteilung den Wert der einen gegenüber einer andern Tierform bestimmen, so erscheint es uns wichtig, solche Formenkreise, die sich bei der Zonengliederung von Schichtenfolgen bewährt haben, besonders hervorzuheben.

Unter der heutigen Schwebewelt sind die planktonischen Foraminiferen Orbulina, Globigerina und Pulvinulina so weit verbreitet und ihre Schalen bedecken so ungeheure Flächen des Tiefseebodens, daß man erwarten konnte, auch unter den fossilen Foraminiferen ebenso kosmopolitisch leitende Arten zu finden. Aber merkwürdigerweise haben sich selbst die kugelig aufgetriebenen Schwagerina und die ähnlich gebauten Fusulina im Karbon und Perm nicht als geeignet erwiesen, eine weitreichende Zone aufzustellen. Selbst die Nummuliten, die offenbar planktonisch lebten

und untertertiäre Gesteine oft massenhaft erfüllen, spielen nur im Pariser Becken eine maßgebende Rolle.

Man sollte glauben, daß die morphologisch so gut erkennbaren und wegen ihres SiO^2 so leicht erhaltungsfähigen planktonischen Radiolarien als Zonenfossilien Verwendung gefunden hätten, denn wir kennen sie aus allen Perioden — aber auch sie haben uns keine leitenden Arten geliefert.

Unter dem rezenten Plankton spielen Ostrakoden und Pteropoden eine so wichtige Rolle, daß man vermuten möchte, auch Vertreter fossiler Familien als Zonenfossilien zu finden. Aber merkwürdigerweise haben sich weder die formenreichen Gattungen der silurischen Ostrakoden und die devonischen Cypridinen, noch die den rezenten Pteropoden so ähnlichen Hyolithen und Tentakuliten als leitende Formen bewährt. Auch die pseudoplanktonische Lebensweise mancher Crinoiden (Pentacrinus) und die an das Leben der Hochsee angepaßte Marsupites haben nur lokale stratigraphische Bedeutung.

Viele Paläontologen erklären die weltweite Verbreitung der Goniatiten und Ammoniten durch eine „nektonische" Lebensweise. Da beide Gruppen völlig ausgestorben sind und ihre Lebensart nur theoretisch erschlossen werden kann, sollte man unter den zweifellos nektonischen Formenkreisen der Gegenwart die letzten Leitfossilien erwarten. Allein sowohl die Fische wie die Wale bewohnen scharfgesonderte Lebensbezirke, und keine einzige Art hat eine so große tiergeographische Bedeutung, daß sie als rezentes Zonenfossil in Frage kommen konnte. Wir müssen uns allerdings bei der Entscheidung dieser wichtigen Frage nicht etwa an Familien oder Gattungen halten, sondern dürfen nur scharfumschriebene Spezies zum Vergleich heranziehen, denn mit solchen arbeitet die Stratigraphie.

Erfahrungsgemäß sind aus dem weiten Formenkreis der benthonischen Trilobiten, Muscheln und Schnecken nur wenige Gattungen zu stratigraphischen Vergleichen entlegener Schichtenzonen verwendet worden, und aus der großen Zahl der vom Kambrium bis zur Gegenwart so verbreiteten und häufigen Brachiopoden hat nur die Gattung Productus einige Arten geliefert, deren weltweite Verbreitung auffällt. Wir haben schon S. 213 ausgeführt, daß die hohlen, oft vergabelten Stacheln und die noch heute silberglänzenden Schalen mancher Productusarten auf eine planktonische Lebensweise schließen lassen.

Wenn wir diejenigen Tiergruppen etwas eingehender besprechen sollen, die tatsächlich als Zonenfossilien eine wichtige Rolle spielen, so handelt es sich nur um die Graptolithen und Ammonitiden, denn alle übrigen fossilen oder rezenten Formenkreise haben sich erfahrungsgemäß zur Zonengliederung nicht als so geeignet erwiesen, wie diese beiden.

Die **Graptolithen**, über deren Organisation wir schon S. 217 gesprochen haben, finden sich nicht nur innerhalb der Grenzen der Silurformation, sondern haben Anlaß zur sorgfältigsten Gliederung derselben gegeben. Mit fast identen Arten lassen sich die böhmischen, thüringischen, schwedischen und englischen Silurprofile vergleichen, und selbst in Nordamerika und Australien besitzen sie eine ganz ähnliche Bedeutung.

Die frühere Auffassung, daß die Graptolithen ähnlich wie Pennatula im schwarzen Silurschlamm senkrecht eingewurzelt waren, ist wohl heute endgültig verlassen und LAPWORTHS Ansicht von einer planktonischen oder pseudoplanktonischen Lebensweise hat allgemeine Zustimmung gefunden. Die von RUEDEMANN entdeckten Schwimmblasen vom Diplograptus sprechen für Plankton, aber der Bitumengehalt des meist schwarzen Schiefers macht es wahrscheinlich, daß mit den vielen Graptolithen auch zahlreiche Pflanzen zusammengelebt haben müssen und mit ihnen eingebettet wurden, so daß man annehmen dürfte, daß andere Gattungen, wie Dictyonema, Rastrites, Monograptus, Pristiograptus an Seealgen angeheftet lebten.

Das seichte Silurmeer, dem eine eigentliche Tiefsee noch fehlte, bot überall die Möglichkeit von rasch entstehenden und wieder vergehenden **Halistasen** oder stillen Buchten, in denen sich alle Treibkörper der Hochsee sammelten. Der völlige Mangel benthonischer Organismen deutet auf schädliche Gase, welche die Ansiedlung einer Bodenwelt verhinderten.

Auf der klassischen Arbeit von S. A. TULLBERG über die Schichtenfolge in Schonen beruht die seither durch alle Länder Europas verfolgte **Zonenreihe** der Graptolithen. Er erkannte zuerst, daß Dictyonema als erster Vertreter der Dendroidea und mit ihm Bryograptus Kjerulfi erscheint. Die nächste Zone Fc wird durch Tetragraptus, Phyllograptus und Didymograptus bezeichnet und nun folgen etwa 30 Zonen, von denen jede einzelne durch bestimmte Graptolithenarten gekennzeichnet ist.

Später haben J. MARR und LAPWORTH diese Zonengliederung weiter verfolgt und verbessert, so daß man 20 Zonen unterschied, die in Europa weite Verbreitung besitzen.

Aber eine sehr merkwürdige Ausnahme bildet Ostthüringen, wo nach EISEL nur die Zonen 10—20 vertreten sind, die unteren Zonen aber vollständig fehlen. Da das Untersilur im Frankenwald nicht nur überaus mächtig ist, sondern auch z. T. aus Schiefern besteht, die für die Erhaltung der Graptolithen ebenso günstig gewesen wären, wie die sog. mittel- und obersilurischen G.-Schiefer, und darin zahlreiche zarte Trilobiten, ja sogar Conularien gefunden werden, ergibt sich die Folgerung, daß die pelagischen Graptolithenschwärme in das thüringer Untersilurbecken nicht eindringen konnten und erst in der Mitte dieser Periode transgredierend auftraten, um dann bis zum Schluß derselben genau denselben Formenwechsel zu zeigen, den andere Silurmeere erkennen lassen.

In schroffem Gegensatz zu dieser Verbreitung der Graptolithen nur in den höheren Stufen des mitteldeutschen Silur, steht ihr Vorkommen in Australien, das wenigstens in seiner Osthälfte reiche Graptolithenfunde geboten hat. Obwohl die kambrischen Schichten mächtig und reich an tierischem Leben sind, so fehlen doch auch hier alle Spuren der seit dem Untersilur so weit verbreiteten Graptolithen. Im Untersilur von New-Südwales sind sie aber schon überaus zahlreich durch Dicranograptus furcatus, Didymograptus caducus, Dicellograptus extensus, Dicellograptus elegans, Diplograptus mucronatus, Diplograptus rectangularis, Diplograptus palmeus, Diplograptus Carnes, Diplograptus Manduramae, Climacograptus biconus, Climacograptus affinus, Climacograptus hastatus, Retiolites caudatus und durch die wesentlich australischen Gattungen Cryptograptus und Glossograptus vertreten.

Das folgende Obersilur enthält weltweit bekannte Formenkreise wie Astylospongia, Halysites, Favosites, Heliolites, Zaphrentis, Cyathophyllum, Pentamerus, Leptaena, Spirifer Atrypa Rhynchonella, Phacops, Hausmannia; auch radiolarienreiche Schiefer sind vielfach bekannt, aber die Graptolithen fehlen vollständig.

Wenn man bedenkt, daß jedem Silurprofil die graptolithenreichen Schichten als eine ganz eigenartige Facies dünnschichtiger schwarzer Schiefer eingeschaltet sind, daß sie trotz ihres oft staunenswerten Reichtums an Graptolithen kein anderes Fossil enthalten, daß besonders jede benthonische Fauna fehlt, wie sie in dem Liegenden und Hangenden anderer Silurgesteine so artenreich enthalten ist, — dann wird man zu dem Satz gedrängt: Die Verbreitung der Graptolithen ist geknüpft an eine bestimmte Facies, die zwar zur Ansiedelung bodenbewohnender Tiere ungeeignet war, aber die von oben darauf herabsinkenden zarten G.-Kolonien gut konservierte.

Aber daraus ergeben sich ebenso wichtige Schlüsse über die Graptolithen selbst: denn jede solche Zone müßte einer vorübergehenden Einwanderung entsprechen, und wenn bei diesen tiergeographischen Transgressionen jedesmal neue leitende Arten und Gattungen auftreten, so müssen wir schließen, daß diese nicht bodenständig entstanden sind, sondern aus einem anderen Lebensraume passiv hereintrieben.

Unter diesen Umständen wird man die einzelnen, durch verschiedene Arten bezeichneten Zonen aber nicht als Zeitmaß für die inzwischen abgelaufenen Entwicklungsvorgänge betrachten dürfen, denn sie waren nicht von biologischen, sondern von ozeanographischen Umständen bedingt. Es fehlt ihnen also der Rhythmus der Lebensvorgänge, den man voraussetzt, wenn man Graptolithenzonen als absolutes Zeitmaß betrachten möchte.

Unter allen übrigen Organismen nehmen die Ammonitiden eine besondere Stelle ein, weil sie, in allen möglichen Gesteinen und mitten zwischen artenreichen benthonischen Faunen auftretend, als Zonen-

fossilien ersten Ranges verwendet werden können. Sie erscheinen zuerst im Silur, erfüllen mit Tausenden von Arten als Goniatiten oder Ammonitiden alle Schichtenfolgen der Alt- und Mittel-Zeit und sterben an der Wende der Kreideperiode restlos aus. Wir wissen wenig über die Organisation ihres Weichkörpers; ob sie 4 oder 8 Kiemen besaßen, läßt sich nicht entscheiden; die Größe und Gestalt des Tieres geht aus der Länge und dem Querschnitt der Wohnkammer hervor, aber eine systematische Bedeutung wird ihr nicht beigemessen. Langgestreckte bandförmige, und rundlich gedrungene Formen werden zu denselben Familien gestellt, und doch spricht die involute oder evolute Schalengestalt dafür, daß der Körper der letzteren einen runden Querschnitt besaß, während der Leib von Arcestes seltsam zusammengedrückt war.

Ganz eigenartig war die Form und Oberfläche des Hinterleibes, mit dem das Ammonitentier auf seinem Septum aufsaß. Enggefaltet wie der Querschnitt eines Kleinhirns, Drüsenepithels oder eines Darmes zeigte er eine so gesetzmäßige Furchung, daß man die von ihm abgeschiedenen Blätter und Sättel des Septum als wichtigstes Element bei der systematischen Bestimmung verwertet. Alle Arten, Gattungen, Familien und Ordnungen der Ammonitiden, die in Millionen von Exemplaren in den Schichten der Erdrinde verbreitet sind, werden nach der Lobenlinie bestimmt, und diese entsteht an der Innenseite des Körpersackes zwischen dessen Epidermis und der Schale, also an einem Ort, der jedem Einfluß der äußeren Umstände entzogen ist.

Im Gegensatz zu den Schalen der Schnecken, Muscheln und Brachiopoden, der Trilobiten, Krebse und Insekten, die den Abschluß des Körpers gegen das umgebende Medium bilden und daher den klimatischen und ozeanographischen, physikalischen und chemischen Bedingungen der Umwelt ausgesetzt, von diesen gefärbt, geformt, ausgebildet und umgebildet werden, ist die Lobenlinie der kalkschaligen Cephalopoden ein inneres Gebilde, dessen Anlage und Ausbildung nur durch die Gesetze des inneren Wachstums, der inneren Sekretion und der Entwicklungsmechanik bestimmt wird.

Die Tatsache, daß man die Phylgenie und Systematik des Ammonitidenstammes auf einer rein „inneren" Eigenschaft begründet hat, gegenüber der die äußere Gestalt, die Anwachsstreifen und der Mundsaum ganz zurücktreten, ist von der allergrößten biologischen Bedeutung, denn sie beweist an einem chronologisch einwandfrei geordneten, durch den größten Teil der Erdgeschichte allgemein verbreiteten, in allen Fazies, allen Wassertiefen vorkommenden Tiermaterial, daß die kleinen und großen systematischen Zusammenhänge der Lebewelt nicht allein von der Anpassung an äußere Umstände, sondern ebenso sehr durch innere Wachstumsgesetze bestimmt werden.

Wir können an diesem Beispiel paläontologisch leicht beweisen, daß die Erbanlage des Genotypus eine mindestens ebenso große Rolle für die Formengebung eines Lebewesens spielt, wie ihre im Phaenotypus zum Ausdruck gelangenden Beziehungen zur äußeren Umwelt. Wer das geradezu unübersehbare Tatsachenmaterial, das uns für die Entscheidung dieser Grundfrage aller Entwicklung geboten ist, auch nur einigermaßen kennt, wird sich der Beweiskraft desselben nicht entziehen können.

Aber noch eine andere innere Eigenschaft der Ammonitenschalen bedarf der Erörterung, nämlich ihre regelmäßige Kammerung und Einrollung.

Wenn man erwägt, daß Schnecken und Cephalopoden regellos durcheinander, fossilführende Gesteine erfüllen, daß beide Gruppen vom Silur bis zur Kreidezeit in allen Perioden verbreitet waren, und daß beide Tierarten ihren weichen Körper in einer Kalkröhre verbergen, deren Durchschnitt mit zunehmendem Alter wächst und sich spiralig aufrollt, so fällt es uns zunächst auf, daß fast alle Schnecken außer der Ebene, fast alle Cephalopoden in der Ebene aufgerollt sind. Bellerophon steht unter den Gastropoden ziemlich allein, und der silurische Trochoceras, der triadische Cochloceras, sowie die in der Kreidezeit auftretenden Nebenformen Turrilites und Heteroceras, stehen in vollem Gegensatz zu allen übrigen regelmäßig in die Ebene eingerollten Gattungen.

Selbst pathologisch abweichende Individuen sind so selten, daß man die Einrollung in der Ebene als ein Grundgesetz des Wachstums der Ammonitiden bezeichnen muß. Die schneckenartig aus der Ebene gewickelten Schalen sind entweder rechts (Heteroceras) oder links (Trochoceras, Cochloceras und Turrilites) gewunden.

Im Gegensatz hierzu sind alle Schnecken rechts gewunden, nur Clausilia unter den Pulmonaten ist regelmäßig links gerichtet, und vereinzelte Links-Individuen kommen gelegentlich auch bei andern Gattungen vor.

Aber noch viel merkwürdiger ist die ausnahmslos rhythmische Kammerung in der Ammoniten-Wohnröhre im Gegensatz zu der ungekammerten Schneckenschale. Zwar zeigt Vermetus und einige Pulmonaten eine unregelmäßige Scheidewandbildung, aber sonst ist jede Schneckenschale bis zur Spitze vom lebenden Körper erfüllt.

Dagegen sind alle, im übrigen der Schneckenröhre so ähnlichen, Cephalopodenschalen in regelmäßigen Abständen von Scheidewänden durchsetzt, die nur an einer kleinen Stelle zum Durchtritt von Gewebeteilen durchbohrt sind. Wenn man den exzentrischen großen Sipho eines silurischen Endoceras mit den engen Siphonen der Goniatiten und Ammoniten vergleicht, so sieht man deutlich, daß jene älteren Formen in ihrem Sipho noch einen großen Teil der Eingeweide bargen. Aber schon der im Silur

auftretende und dann fast unverändert bis zur Gegenwart lebende Nautilus hat einen kleinen zentralen Sipho, in dem nur eine Arterie und ein venöses Gefäßsystem enthalten ist, das ähnlich wie die Blutgefäße der Wirbeltierlunge den Austausch und die Regulierung der Luftmenge in den Luftkammern vermittelt. Dasselbe kleine Siphonalloch, bald intern, bald extern gelegen und mit rückwärts gerichteten Tüten, finden wir bei fast allen Vertretern des Ammonitidenstammes.

Noch heute bietet Rumpfs inhaltsreiches Werk (Amboinische Raritätenkammer vom Jahre 1705) die einzige vollständige Beschreibung der Lebensweise des rezenten Nautilus, und wer dieses Buch einmal selbst studiert hat, wird nicht daran zweifeln dürfen, daß die von Rumpf geschilderten Tatsachen richtig sind; um so mehr, als sie von so ausgezeichneten Zoologen wie J. Murray, Bennet und Semon später bestätigt wurden.

Danach ist Nautilus ein benthonisches, kriechendes Tier, das sich mit seiner zerschlitzten Tentakelscheibe (die keine Saugnäpfe trägt), die Schale nach oben, fortbewegt. Nach Stürmen kommen die Tiere zur Meeresoberfläche empor und werden in Trupps von den Wellen umhergetrieben. Augenscheinlich werden sie durch den Sturm *passiv* emporgetragen, denn bald ziehen sie ihre Arme ein, kehren ihre Schale um und sinken in die Tiefe hinab. In der Regel beleben sie das flache Wasser und werden von den Fiji-Insulanern mit Angeln oder in Korbreusen zwischen den Riffen gefangen. Auf andern Inseln werden sie von Tauchern erbeutet.

In schroffem Gegensatz zu dieser benthonisch kriechenden Lebensweise steht die Tatsache, daß *alle* Nautilusschalen nach dem Tode des Wohntieres passiv zum Meeresspiegel emporsteigen und lange Zeit von den Wellen umhergetrieben werden. Für ihre geologische Einbettung ist also nicht die benthonische Lebensweise des lebenden Tieres, sondern die mechanische passive Verfrachtung der *nach dem Tode des Tieres* zum Nekroplankton gehörenden Schale entscheidend. Ich habe seit dem Jahre 1897 wiederholt betont, daß es für diese Verbreitungsart *ganz gleichgültig* ist, ob ein mit einer gekammerten Schale versehener Ammonit benthonisch, nektonisch oder planktonisch gelebt hat — denn *jede mit Luftkammern versehene Schale wird nach dem Tode des Tieres ein nekroplanktonischer Treibkörper.*

Aus diesem Grunde ist es für das Problem der Cephalopodenverbreitung in der Schichtenfolge von höchster Bedeutung, ob alle Ammonitenschalen in ähnlicher Weise passiv schwammen und auch wodurch die eigenartige Kammerung derselben biologisch bedingt war.

Schon die kambrische Volborthella zeigt deutliche Kammerwände. Zwar erinnert dieses zarte kleine Fossil mehr an eine Jugendform als wie an ein erwachsenes Wesen; auch ihre Einbettung im weichen Schlamm und die zarten Hornschälchen und Zähnchen, mit denen sie zusammen

gefunden wird, scheinen dem jugendlichen Meroplankton anzugehören. Aber schon die untersilurischen Nautiloideen zeigen uns ausnahmslos eine regelmäßige Kammerung. Allerdings ist der geräumige, von Weichteilen erfüllte Sipho und ebenso die verhältnismäßig dicke Schalenwand von vielen Endoceras- und Orthoceras-Arten ein Zeichen dafür, daß ihre leere Schale weniger leicht schwimmen konnte. Allein wer auf den großen Kalkplatten des schwedischen Untersilur umherwandernd die zahllosen, in flachem Wasser angetriebenen zartschaligen Echinocystiden und die zwischen ihnen herumliegenden, meist vor der Überdeckung vom Seewasser halb angeätzten, großen Endocerasröhren untersuchte, der gewann auf diesem versteinerten Meeresstrand den Eindruck, daß Endoceras ebenso leicht an der Wasseroberfläche dahintrieb wie die zarten Hohlkugeln der Cystoideen, deren Hohlräume erst nachträglich mit Kalkspatdrüsen ebenso erfüllt wurden wie die weißen Luftkammerkristallhöhlen im roten Silurkalk.

Die in so vielen Luftkammern der Ammonitenschalen ausgeschiedenen Mineralkrusten, und die nicht selten noch heute leeren Luftkammern lassen jeden Beobachter leicht erkennen, daß das Sediment durch den Sipho nur die letzten Luftkammern erreichte, daß also mit anderen Worten die inneren Schalenwindungen auch nach dem Tode des Tieres lufterfüllt waren. Der Zeitraum, welcher nötig war, um diese Kammerluft durch Infiltration mit Seewasser zu erfüllen, entspricht der Zeit, während deren die Schale als Treibkörper im Wasser schwimmen mußte.

Für die Häufigkeit treibender Nautilusschalen spricht nicht nur, daß man Nautilusschalen weit außerhalb des malayischen Archipels am Ufer sammeln kann, sondern auch folgende auf der Valdivia-Expedition gemachte Beobachtung:

„In der Nähe von Ceylon trieb eine Nautilusschale auf dem Wasser, welche, wie es schien, noch von dem Tiere bewohnt war. Es gelang uns, dieselbe aufzufischen, wobei es sich freilich ergab, daß die Wohnkammer nicht den lebenden Cephalopoden, sondern Fische enthielt, die sich scheu in dieselbe duckten. Da wir neben dem Dampfer noch einige Fische bemerkten, welche unstet umherschwammen, warfen wir die leere Schale noch einmal ins Wasser und hatten bald die Genugtuung, daß alle rasch auf dieselbe zuschwammen und sich in ihr bargen. Wir hielten diese Fische noch eine Zeitlang lebend in unserem Bassin und fanden, daß sie schlechte Schwimmer waren. Bei Annäherung des Menschen suchten sie rasch die Wohnkammer der mit Hydroiden und Algen bewachsenen Schale zu gewinnen, klappten geschickt ihren Rückenstachel in eine Furche ein, um sich platt mit dem Kopf voran an die Seitenwände zu ducken." Diese Tatsache ist von allergrößtem geologischen Interesse: denn wenn eine Fischart an das Leben in einer auf offenem Meere treibenden Nautilusschale so angepaßt ist, daß sie darin noch in der

Nähe eines Dampfers Schutz sucht, so muß die Trift leerer Cephalopodenschalen trotz der geringen Artzahl derselben eine ganz alltägliche Erscheinung sein. Um wieviel mehr muß die Oberfläche der mesozoischen Meere, an deren Grund Hunderte von Gattungen und Arten des Ammonitengeschlechtes lebten, von den leeren Schalen dieser bodenbewohnenden Tiere bedeckt gewesen sein.

Die Frage nach der Funktion der Kammerung ist meist dahin entschieden worden, daß man sie für eine hydrostatische Einrichtung hält, die es dem Tier gestattete, bald im Wasser aufzusteigen, bald hinabzutauchen. Aber ich glaube, man verwechselt hierbei Ursache und Wirkung.

Wenn wir im Tierreich Umschau halten nach der Art, wie ganz verschiedene Tiere ihre hydrostatischen Schwimmorgane ausgebildet haben, so sehen wir ausnahmslos elastische Gewebe dazu verwendet. Die Fettropfen und Vacuolen der kleineren Planktonwesen, die glänzenden Luftblasen der Siphonophoren und Salpen; die blauen Trauben der Janthina und die Fischblasen der Teleostier sind niemals mit Kalk imprägniert, sondern werden durch Kontraktion des umhüllenden weichen Gewebes verkleinert oder ausgedehnt. Ja bei den nächsten Verwandten der Ammonitiden, den Sepiophora, Chondrophora und Octopiden, die als geschickte Taucher, Schwimmer und Kriecher in jedem Aquarium bewundert werden können, ist überhaupt kein besonderer „hydrostatischer Apparat" ausgebildet, und die bloße Veränderung des Körpervolumens reicht aus, um sie rasch versenken oder aufsteigen zu lassen.

Ich halte eine starrwandige Reihe von Luftkammern überhaupt für ungeeignet, um einem damit verbundenen Tier das Aufsteigen oder Sinken zu erleichtern, und so müssen wir fragen, ob diese eigenartige Organisation der Cephalopodenschale nicht andere biologische Ursachen gehabt haben sollte?

Bekanntlich ist nicht nur die Gestalt des Septums, sondern auch der Abstand der Scheidewand bei allen Ammonitengattungen von überraschend gleichbleibendem Charakter. Sobald das Tier seine ersten, noch unvollkommen gefalteten Embryonalsepten angelegt hat, beginnt die Reihe der Scheidewände mit ihrer für jede Gattung und oft für die einzelne Art so bezeichnenden Lobenlinie. Ihre Sättel und Blätter werden vermehrt, kleine Unregelmäßigkeiten unterbrechen gelegentlich die Reihe, aber im ganzen kann man ein junges Exemplar mit wenig Windungen an der charakteristischen Lobenlinie ebenso leicht bestimmen wie ein ausgewachsenes Individuum.

Es ist in der Paläontologie seit L. v. Buch so viel über die Bildung der Lobenlinie nachgedacht und geschrieben worden, eine große Literatur behandelt die Veränderungen derselben im Leben der einzelnen Ammoniten von der Anfangskammer bis zur Endform und ebenso die spezifischen Artänderungen, die auf der Umbildung der Lobenlinie beruhen, aber

nirgends findet man eine Erörterung der physiologischen Vorgänge, die mit der Abscheidung jedes einzelnen Septums notwendig verbunden gewesen sind.

Die physiologischen Umstände der Septalbildung lassen sich in der Weise beschreiben, daß in regelmäßig wiederkehrenden Zeitabständen der Körper des Ammoniten innerhalb der Wohnkammer vergrößert wird, daß zu seinem Schutz der vordere Schalenrand weiter wächst, daß aber dann der Körper wieder nahezu sein ursprüngliches Volumen annimmt und daß an seinem Hinterende, und zwar in engster Berührung mit dessen Epidermis, eine feste Kalkwand abgeschieden wird, deren Oberfläche durch die Form des Hinterleibes bestimmt wurde.

Wenn wir fragen, welche Veränderung eines lebenden Tieres solche Wirkung haben kann, so kommen wir zu der Annahme, daß es nur die Körpervergrößerung während der Bildung der Geschlechtsprodukte gewesen ist. Der trächtige, mit Eiern oder Sperma angefüllte Leib vergrößerte sich jedesmal. Sobald aber die Trächtigkeitsperiode zu Ende war und die befruchteten Jungen das Muttertier verließen, verkleinerte sich der Körper wieder um ein bestimmtes Maß und mußte jetzt durch die Bildung einer Scheidewand nach hinten innerhalb der Schale befestigt werden.

Daß manche (ob alle?) Ammoniten innerhalb des Muttertieres befruchtet wurden und sich in dessen Wohnkammer bis zu einer gewissen Größe entwickelten, geht aus dem von Michael beschriebenen Exemplar einer Oppelia deutlich hervor.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß, während der Hinterleib der Ammoniten von der letzten Scheidewand um einen für jede Art bestimmten Abstand abrückte, gleichzeitig der Mundsaum vergrößert werden mußte. Nun zeigen ja viele Ammonitenschalen regelmäßige Anwachsstreifen und Rippen, Bänder und Einschnürungen, aber deren Verlauf stimmt nicht mit den Abständen der Scheidewände überein. Während jede verzierte Schneckenschale den Rhythmus des Körperwachstums durch die Querverzierungen überschauen läßt, besteht kein organisch-chronologischer Zusammenhang zwischen den Anwachsstreifen der Ammonitenschalen und den innern Septen.

Aber auch die nur selten erhaltenen Verzierungen, wie die Ohren, Spitzen oder Ausbuchtungen des Mundsaumes, sind in der Regel bei dem rhythmischen Wachstum der Schale jedesmal resorbiert worden; sonst würde z. B. die Saumlinie eines Ohres über die ganze Schale verfolgt werden können.

Es muß also, wie bei den fingerartigen Schalenfortsätzen von Alaria, Aporhais und Strombus oder bei Tremanotus vor jeder Vergrößerung der Schale der Mundsaum vom Tier selbst aufgelöst worden sein, ehe die Schalenröhre weiterwachsen konnte.

Noch viel seltsamere biologische Vorgänge aber mußten sich bei der Septalbildung im Hinterraum der Wohnkammer abspielen. Denn die ähnliche Ausbildung der Lobenlinie während des ganzen Lebens bedeutet für den physiologisch denkenden Paläontologen, daß der mit dem kalkabscheidenden Epithel bedeckte Hinterleib der Ammoniten ebenso zerschlitzt und zerlappt war, wie die von seiner Oberfläche abgeschiedene Scheidewand.

Das harte Septum besaß kein Eigenwachstum, sondern entstand stets nur als kalkiger Abdruck des Ammonitenkörpers, während der Mundsaum und die äußeren Verzierungen der Schale von den Drüsen des Mantelrandes abgeschieden und bei Bedürfnis wieder aufgelöst wurden.

Die Lappen, Zotten und Buchten der „Mantelfläche" durften sich in keiner Zotte ändern, solange sie vor der Abscheidung des neuen Septums frei in den Hohlraum der Wohnkammer hineinhingen. Wahrscheinlich wurden sie, während der Ammonit seinen Leib nach vorn verlagerte, durch eine vom Mantel ausgeschiedene Flüssigkeit (Gelatine?) vor jeder seitlichen Verwachsung oder Verletzung geschützt, und erst nachdem der Mundsaum verlängert und das Tier wieder fixiert worden war, konnte die Bildung der kalkigen Scheidewand erfolgen. Wenn aber ein neuer Adventiv- oder Laterallobus gebildet werden sollte, mußte der Weichkörper des Ammonitentieres vorher neue Verästelungen treiben.

Wenn wir alle biologischen Vorgänge überschauen, die zur Bildung einer fortlaufenden gleichartigen Septalreihe notwendig waren, so wird man einsehen, daß diese seltsame und in der ganzen Tierreihe einzigartige Einrichtung mit einem biologisch notwendigen Vorgang im Leben der Cephalopoden zusammenhing und daß sie allmählich so fest vererbt wurde, daß auch die jugendlichen Individuen schon den Rhythmus ihrer Luftkammerbildung zeigen, obwohl sich dieselbe erst bei der wirklichen Geschlechtsreife als physiologisch notwendig erwies.

Die Kammerung ist nicht für die Bewegung des Tieres notwendig, denn sie ist ein starres System von Luftkammern. Durch bloßes Einziehen oder Ausbreiten des Körpers kann ja jeder nackte Cephalopod leicht den Druck des Wassers ausbalanzieren, und wer einen Oktopus durchs Wasser schießen sah, oder die eleganten Schwimmbewegungen eines Loligo bewundert hat, wird nicht zweifeln, daß auch die Ammoniten sehr vielartige Bewegungen ausführen konnten. Aber trotz ihrer so mannigfaltigen Lebensweise war allen Schalen das passive Treiben nach dem Tode des Tieres gemeinsam und damit allein hing die geologische Verbreitung der gekammerten Cephalopodenschalen zusammen.

Die Vorgeschichte und die Verbreitung der Cephalopoden ist vom Untersilur bis zur Gegenwart leicht zu verfolgen und ihr Zusammenleben mit zahllosen anderen Meerestieren erleichtert uns die Analyse des oft so seltsamen Auftretens neuer Arten oder ganzer Formenkreise.

Zunächst fällt es uns auf, daß die Gruppe während des langen Zeitraums vom Silur bis zur Gegenwart stets unter dem Wasserspiegel blieb, also niemals, wie die Gastropoden. eine „pulmonate" Gruppe entwickelte; ja es scheint sogar, daß kein Zweig ins Süßwasser eingedrungen ist.

Für ein Leben in salinischen Gewässern sprechen die triadischen Ceratiten, deren Lobenlinie nicht, wie man das früher annahm, einen Übergang von Goniatiten zu Ammoniten bildet, sondern offenkundig durch Reduktion aus einer verwickelteren Lobenlinie, durch Vergrößerung der Sättel und Verkümmerung der Lobenlinie zu einer kurzen gezackten Linie, entstanden ist. Auch das seltsame sprunghafte Auftreten der „Ceratiten" spricht nicht für eine direkte Vererbungsweise, sondern für eine mehrfach erworbene Eigenschaft.

Die Ammonoideen sind die Fossilien, an denen man zuerst das Wesen eines Leitfossils erkannte und die bisher, trotzdem ihre Artenzahl nach Tausenden gewachsen ist und ammonitenreiche Faunen in allen marinen Sedimenten auftreten, noch immer die führenden Leitformen für die chronologische Gliederung der Schichtenfolge darbieten.

Diese wichtige Eigenschaft verdanken sie vor allem ihrer Unabhängigkeit von der lithologischen Fazies. Sie überschreiten nicht nur die Grenzen ihres engeren Wohnraumes, sondern treten gelegentlich als einzelne Individuen in ganz anderen Lebensgenossenschaften auf. Diese Unabhängigkeit von den Lebensbedingungen der Umwelt ist so einzigartig, daß sie ganz besondere Ursachen haben muß.

Da die mit den Ammonitiden so nahe verwandten und viel langlebigeren Nautiloideen sich nicht als Leitformen bewährt haben, scheint es, daß ihre dicke Schale und die geringere Zerschlitzung der Lobenlinie für einen passiven Transport weniger günstig waren. Denn an ihrer Lebensweise kann es nicht liegen, daß Orthoceras und Nautilus so oft mit Goniatiten oder Ammoniten in demselben Lebensraume zusammen gefunden werden.

Nur die feinzerlegte Kammerung bedingt es, daß Ammonitenschalen in ganz verschiedene Meeresböden eingebettet und über so große Flächen verbreitet wurden, denn die gleichzeitig lebenden Schnecken, Muscheln und Brachiopoden zeigen niemals dieselbe Verbreitung. Die Annahme, daß diese Formen „gute Schwimmer" gewesen seien, kommt nicht in Frage, denn die Lebensweise eines Arcestes oder Ptychites war sicher von der eines Scaphites so grundverschieden, daß die Bewegung des lebenden Tieres nicht entscheidend gewesen sein kann für die Verbreitung seiner Schale.

Merkwürdig ist die Seltenheit mechanisch zertrümmerter Ammonitenschalen-Breschen. So häufig auch die Wohnkammer mit ihren Mundsaum-

gebilden verschwunden ist, so gering ist die Neigung der Luftkammerspirale zur Bildung von Trümmerkalken, wie wir solche bei Schnecken, Muscheln und Brachiopoden so häufig beobachten. Es scheint, daß die Ammoniten keine Feinde hatten, die imstande gewesen wären, deren Schale zu zerbrechen.

Die meisten Ammonitiden (ich rechne natürlich auch die älteren, früher als Goniatiten und Clymenien unterschiedenen Formenkreise mit hinzu) treten in der Schichtenfolge transgredierend auf und bilden meist deutliche Zonen.

Wo marine Schichten festländisch entstandene Gesteine überlagern, darf es uns nicht Wunder nehmen, daß z. B. mit dem marinen Lias über dem festländischen Keuper eine ganz neue Fauna erscheint und auch die Ammoniten zu neuen Typen gehören. Aber wenn wir die Ammonitenzonen des Lias vergleichen, erkennen wir, daß die Einwanderung schubweise erfolgte und daß jede Zone durch neue, transgredierend erscheinende Gattungen charakterisiert wird — kein Paläontologe wird den Versuch machen, die leitenden Formen: Psiloceras planorbis, Schlotheimia angulata, Aegoceras capricornu, Amaltheus margaritatus und Harpoceras Lytensis in eine phyletische Reihe zu ordnen.

Auch die Ammoniten des Röt wandern auf ein vorher von roten Sanddünen bedecktes Wüstenland, und es ist bemerkenswert, daß Beneckeia, die, an den flachen Strand getrieben, ganze Schalenpakete bildete, zu den Ceratiten gehört, also schon salinische Veränderungen erkennen läßt. Ganz anders ist das Erscheinen des alpinen Ptychites im Schaumkalk zu bewerten, denn hier finden wir zwischen den diagonal geschichteten Kalksanddünen, die über den Wasserspiegel eine Kette von Untiefen bildeten, die leeren Schalen von Arten angetrieben, die im fernen Weltmeer lebten, und nur passiv durch gelegentliche Trift bis in das Herz des germanischen Beckens gelangten.

Im oberen Muschelkalk erscheint dann, als Bewohner desselben sich bald ansiedelnd, die Gattung Ceratites, und seine Wohnkammer zeigt so verschiedene Gestalt, daß wir annehmen müssen, daß mehrere Gattungen „alpiner" Ammoniten nacheinander einwanderten und im salinischen Wasser immer wieder eine Ceratites-Lobenlinie ausbildeten.

In anderen Fällen handelt es sich um migratorische Einwanderungen, und wenn dann manche dieser neuerscheinenden Typen in den hangenden Schichten artenreich werden, dann erkennt man deutlich die biologischen Einflüsse einer neuen Umwelt.

Viele Schichten sind mit so zahllosen Exemplaren einer einzigen Art bedeckt oder erfüllt, daß man an Ufergebiete oder flache Untiefen denken möchte, an denen tausende von Schalen strandeten. So zeigen die bekannten, mit A. planicostatus Sow. bedeckten Marlstoneplatten

des Lias von Sommerset deutlich den Charakter eines mit Schalentrift bedeckten Strandes.

Die Seltenheit von Ammoniten in reinen organischen Riffkalken ist auffallend; besonders, da andererseits mitten in solchen bisweilen ganze „Nester“ von solchen auftreten. Während die Graptolithenschichten nur Graptolithen bergen und jedes benthonische Tier fast ausnahmslos dazwischen fehlt, ist die Vergesellschaftung der Ammoniten mit benthonischen Echinodermen, Muscheln, Schnecken und Brachiopoden so häufig, daß schon daraus die benthonische Lebensweise der meisten Formenkreise erhellt.

Um so merkwürdiger ist ihre chronologische Verbreitung in der Schichtenfolge. Gehen wir von der Einzelgliederung derselben aus, so tritt uns schon im Silur überall die durch bestimmte Arten ausgezeichnete „Zone“ entgegen. Auch die devonischen Schichtenfolgen lassen sich durch einzelne Gattungen oder sogar Arten leicht in Zonen zerlegen. Keine Spirifere, kein Orthotetes und keine Atrypa hat auch entfernt so große stratigraphische Bedeutung wie Cheiloceros oder die vielen Untergattungen von Clymenia und Tornoceras. Im paralischen Oberkarbon gewinnen die Formenkreise von Glyphioceras und Dimorphoceras große Wichtigkeit; die Ammoniten der Artastufe haben eine genaue Zonengliederung erfahren und in den nordindischen Profilen vom Karbon bis zum Perm haben sich wiederum gerade die Ammonitiden als wichtigste Formen für die Unterscheidung der Zonen bewährt.

Geradezu überraschend sind die neueren Untersuchungen von E. David und H. D. Thomas über die Einschaltungen einer Bank, erfüllt mit zahllosen Exemplaren des aus dem Oberkarbon von Nordindien wohlbekannten Gastrioceras Jacksoni unter den glazialen Moränen am Irwinfluß, mit deren Hilfe es gelang, den Beginn der bisher für permisch gehaltenen Vereisung in Westaustralien in die Mitte der oberkarbonischen Zeit zu verlegen, während im Osten des Kontinents in Neusüdwales durch Süssmilch die ältesten Moränen mit einer typischen Kulmflora (Rhacopteris, Cardiopteris und Archaeocalamitas) verbunden sind.

Ganz rätselhaft ist das Fehlen der Ammonitiden sowohl im deutschen und englischen Zechstein, wie in den alpinen Bellerophonkalken, obwohl Nautilus darin vorkommt; andererseits überraschen uns in den Sosiokalken neben Bellerophon zahlreiche Ammoneen.

Welche Rolle die Ammoniten bei der Eingliederung der Triasschichten sowie der Jura- und Kreideformation spielen, bedarf keiner Betonung. Immer wieder ist es gelungen, reiche Faunen anderer Meerestiere mit Hilfe einiger weniger Exemplare von Ammoniten in vollständiger gegliederte Schichtenfolgen einzuordnen und damit die chronologische Zeitfolge wesentlich zu klären.

So sehen wir sie immer wieder in seltsamer, fast launenhafter Verteilung bald vereinzelt, bald schwarmweise auftreten und werden veranlaßt, diese absonderlichen Erscheinungen auf besondere Ursachen zurückzuführen.

Wenn wir alle diese Tatsachen zusammen überblicken, dann kann es keinem Zweifel unterliegen, daß die Ammoniten ihre stratigraphische Bedeutung nicht ihrer einstigen „Lebensweise", sondern ihrer „Todesweise" verdanken, und daß das passive Treiben der Schalen nach dem Absterben der Wohntiere der eigentliche Grund ihrer geologischen Bedeutung ist.

Angepaßt an die große Mannigfaltigkeit fazieller Umstände des Meeres, vom Strand bis zur Hochsee, vom Ufer bis zur größten abyssalen Tiefe, bald kriechend, bald festsitzend, bald schwimmend, bald kletternd, belebten die vielgestaltigen Tiere das Meer durch eine überaus lange Reihe von Zeiträumen. Aber trotz dieser großen Verbreitung in allen Meeresräumen waren nur wenige Arten geeignet, um tiergeographische Lebensräume oder Klimazonen abzugrenzen. Denn sobald ein Tier krank wurde, stieg seine Schale mit ihm zur Meeresoberfläche empor und trieb hier so lange umher, bis Wasser in die Luftkammern eindrang und die Schale wieder zum Meeresgrund hinabsinken konnte. Viele Schalen strandeten am Ufer, viele häuften sich auf schlammigen Untiefen an, andere gerieten zwischen artenreiche Faunen und mischten sich mit deren Überresten. So gelangten ganze Scharen oder nur vereinzelte Irrgäste nach dem Tode zwischen Synusien, in denen sie nie gelebt hatten, und so erklärt sich das sprunghafte Auftreten vieler Faunen oder das isolierte Vorkommen einzelner Individuen

Die äußeren Umstände, welche die horizontale Verbreitung von gekammerten Cephalopoden in irgend einem großen (Formation) oder kleinen (Zone) Abschnitt der Erdgeschichte bestimmen, gehören also nur zum geringsten Teil zu der bionomischen Umwelt im Sinne von Lamark, sondern wurzeln in den ozeanographischen Verhältnissen Die Frage der Raumbildung des Meeres, die wir in einem folgenden Abschnitt behandeln werden, die Tiefe des Wassers, der Verlauf der Küstenlinie, die Verteilung von großen Festländern oder kleinen Inseln, die Meeresströmungen, die Windtrift der Stürme, die Wirkung eines vereinzelten Seebebens, der Wechsel der Monsume und jede enge Meeresstraße, die in ein Nebenmeer mündete, beeinflußten die schwebende Trift der Nekroplankton viel mehr als die Lebensbedingungen in dem Heimatgebiet der betreffenden Art.

Wenn wir von diesem Gesichtspunkt die vertikale Verbreitung der Ammonitenarten, ihr plötzliches Erscheinen oder ihr Verschwinden, ihre Häufigkeit oder Seltenheit, die Zahl der örtlich angeschwemmten Individuen oder Arten und Gattungen, ihre Vergesellschaftung mit ganz verschiedenen Lebensgenossen und ihre Verbreitung in gewissen Gesteinen prüfen, so erscheint uns auch die durch bestimmte Arten chrakterisierte

Zone nicht allein als eine chronologische Folge von Lebensvorgängen, die im Lebensraum der betreffenden Gruppe neue Arten entstehen ließen, sondern zugleich als ein Problem des mechanischen Transports, und ein rascher oder langsamer Artenwechsel in einer Schichtenfolge mit Ammoniten ist nicht notwendig eine phyletische Reihe, sondern ebenso oft nur der Ausdruck rasch wechselnder Strömungen in einem Meeresbecken.

So müssen wir auch jeden Versuch, die Zeitdauer einzelner Zonen von Graptolithen- oder Ammonitenarten zu schätzen, ablehnen, denn die innerhalb einer größeren, isopisch entwickelten Gesteinsmasse verteilten Hartgebilde können zum Teil von fernher angetrieben worden sein. Solche treten dann als erratische Fremdlinge auf, deren Bedeutung zur Bestimmung des relativen Zeitraumes der umgebenden Fauna groß ist, obwohl sie niemals als Zeitmesser für absolute Zeitwerte verwendet werden können.

Denn nur die Glieder einer in dem betreffenden Lebensraume endemischen, also bodenständigen Formenreihe eignen sich für die Aufstellung ununterbrochener Stammfolgen und da es kein Mittel gibt, um die Lebensdauer irgend einer Ammonitenart zahlenmäßig zu schätzen, ist es auch unmöglich, die auf dem Artenwechsel von Ammoniten beruhende Zonenfolge chronologisch zu bestimmen.

Literatur

Deecke, W., Paläontologische Betrachtungen über Cephalopoden. N. Jahrb. für Min. Beilage-Bd. XXXV, S. 241, 1912. — Diener, C., Untersuchungen über die Wohnkammerlänge als Grundlage einer natürlichen Systematik der Ammoniten. (Sitzungsber. Akad. d. Wiss.. Wien. Math.-nat. Kl. Abt. I. 125 p. 253. Wien 1916.) — Diener, C., Grundzüge der Biostratigraphie. 1925. — Eisel, Rob., Über zonenweise Entwicklung der Rastriten und Demirastriten in den mittelsilurischen Graptolithenschiefern Thüringens und Sachsens. 53./54. Jahresber. d. G. v. F. d. N. in Gera. Seite 27. — Marr, John, The Classification of the Cambrian And Silurian Rocks Cambridge. 1883. — Monsen, Astrid, Über eine neu-ordovicische Graptolithenfauna. Norsk geologisk tidsskrift bd. VIII. 1925. — Neumayr, M., Über unvermittelt auftretende Cephalopodentypen im Jura Mittel-Europas. Jahrb. d. geol. Reichsanstalt 1878, 28. Bd., Heft 1. — Rüdemann, Rud., Observations on the Mode Of Life Of Primitive Cephalopods Bull. Geolog Soc. of Amerika, Vol. 32, pp. 315, 1921. — Salfeld, Hans, Kiel- und Furchenbildung auf der Schalenaußenseite der Ammonoideen in ihrer Bedeutung für die Systematik und Festlegung von Biozonen. Zentralbl. f. Min. etc. Jahrg. 1921, Nr. 11, S. 343. — Schindewolf, H. O., Zur Kenntnis der Devon-Karbon-Grenze in Deutschland. Zeitschr. d. Deutsch. Geolog. Gesellsch., Bd. 78, Jahrg, 1926, Abhandlung Nr. 1. — Schmidt, Herm., Die karbonischen Goniatiten Deutschlands. Jahrb. d. Pr. Geol. Landesanstalt 1924, Bd. XLV. — Schmidt, Mart., Ammonitenstudien, Fortschritte der Geologie und Paläontologie. Heft 10, Berlin 1925. — Süßmilch, Geology of New-Southwales. Sidney 1914, S. 28 und 46. — Tullberg, S. A., Über die Schichtenfolge des Silur in Schonen. Z. d. deutsch. Geol. Ges. Berlin 1883, S. 223. — Walther, Johannes, Über die Lebensweise fossiler Meerestiere. Zeitschr. d. Deutsch Geol. Gesellsch., 1897, Heft 2. — Wasmund, E., Biocoenose und Thanatocoenose. Archiv f. Hydrobiologie, XVII. Stuttgart 1926. — Wedekind, Grundlagen und Methoden der Biostratigraphie. 1916.

55. Die Lebensgenossen

Wer die heutige Verbreitung der Organismen von einem allgemeineren Standpunkt aus betrachtet, der sieht in der freien Natur nicht etwa isolierte Einzelwesen und Reinzuchten einzelner Arten, sondern überaus mannigfaltige Genossenschaften oder Synusien, die infolge des beständigen Austauschs der Einzelwesen einen ebensolchen „Stoffwechsel" zeigen, wie das Leben des Einzelwesens innerhalb seines Zellensystems durch den unaufhörlichen Austausch seiner Elementarbestandteile.

Die Kultur gab weiten Flächen des Festlandes einen anderen Charakter: Reinzuchten von Baumarten, Getreiderassen und Nutztieren fallen uns überall in die Augen, aber Urwald, Waldwiese und Moor zeigen dem biologisch Denkenden andere natürliche Zustände. Auch auf das Küstengebiet des Meeres hat sich die auslesende Tätigkeit des Menschen ausgedehnt; Austernbänke und Fischfangplätze stehen im Gegensatz zu dem bunten Tierreichtum der natürlichen Lebensbezirke des Oceans.

Die Erkenntnis, daß alle normalen Lebensbezirke von Genossenschaften verschiedener Arten und Gattungen belebt werden, in denen allerdings jede Art zur Zeit der Fortpflanzung in individuenreichen Schwärmen auftreten kann, und daß alle diese zusammenlebenden Wesen in gegenseitiger bionomischer Abhängigkeit stehen, wird uns dadurch erschwert, daß die systematische Analyse der Lebensformen zu einer Zweiteilung der Lebenskreise geführt hat, in denen der Zoologe nur die Tiere, der Botaniker nur die Pflanzen des Lebensraumes sammelt.

Die vorwiegend auf scharfe systematische Trennung der Arten eingestellte botanisch-zoologische Forschung hat lange Zeit diese biologischen Einheiten gering geachtet, und nur vereinzelte Biologen haben ihre ungeheure Bedeutung erkannt. Heute ist die physiologische und biologische wechselseitige Abhängigkeit einer Art von der andern, und das notwendige Zusammenleben von Vertretern ganz verschiedener Arten, Gattungen, Ordnungen und Klassen allgemein anerkannt und befruchtet überall die biologische Erkenntnis. Ein Wald besteht nicht nur aus Bäumen, sondern auch aus Sträuchern, Kräutern, Farnen, Pilzen und Flechten; zu ihm gehören nicht allein Pflanzen, sondern auch Wild, Vögel, Insekten, Schnecken und Würmer — erst alle diese verschiedenartigen Formen zusammengenommen, bilden die Gemeinschaft „Wald".

Ein Korallenriff besteht nicht nur aus Korallen, sondern dazwischen leben Hydroiden und Brachiopoden, Schnecken und Muscheln, Krebse und Fische, und bewegen sich zwischen Grünalgen, Tangen, Rotalgen und Seegräsern, die ebenso notwendig zu der Korallenwelt gehören, wie die planktonischen Foraminiferen und Algen des darüberwogenden Meeres.

Besonders der Gegensatz der festländischen Pflanzen und Tiere, der jedem Beobachter so offenkundig entgegentritt und so wesentlich erscheint, der aber bei einer allgemeinen Übersicht der Lebewelt an Be-

deutung verliert, hat alle solche Betrachtungen gehemmt und in falsche Bahnen gedrängt.

Auch die Untersuchung der fossilen Lebewelt war unter dem Einfluß solcher systematischen Grenzen dazu übergegangen, die Synusien der Vorzeit in diese zwei Gruppen scharf zu zerlegen, und da die fossilen Pflanzen entweder sehr unvollkommen erhalten oder schwer deutbar waren, ergab sich zuletzt, daß man unter „Paläontologie" eigentlich nur eine Paläozoologie verstand.

In den paläontologischen Museen aber wurden vorwiegend die stratigraphisch leitenden Tiergruppen aufgestellt und aufgespeichert, und daraus ergab sich weiter eine einseitige, nur auf vergleichend stratigraphische Gesichtspunkte gerichtete Arbeitsweise und Problemstellung.

Der sammelnde Geologe stellte dann in seinen Fossillisten zwar die gefundenen Pflanzen und Tiere zusammen, ordnete sie aber innerhalb dieser beiden Naturreiche nur nach systematischen Grundsätzen und suchte die Fossilien aus dem umhüllenden Gestein so zu isolieren und frei zu präparieren, daß die durch die Eigenschaften des fossilführenden Gesteins ihm gebotene geologische Umwelt für die weitere Untersuchung verloren ging.

Das letzte Ziel dieses Buches ist es, die fossilen Lebensgenossenschaften im Rahmen ihrer natürlichen Umwelt als Einheiten von biologischer und chronologischer Eigenart zu betrachten, um auf diesem Wege die Probleme der Geschichte des Lebens zu enträtseln. Denn wir beobachten in der geologischen Vorzeit, wie in der Gegenwart, daß einzelne Arten nur selten und vorübergehend für sich allein einen größeren Lebensraum erfüllen, daß vielmehr zahlreiche Arten, meist aus ganz verschiedenen Formenkreisen zu einer Synusie verbunden erscheinen. Wir finden weiter, daß, wie die rezenten Synusien an bestimmten, klimatisch und bodenkundlich scharf begrenzten Standorten auftreten, in ganz ähnlicher Weise die fossilen Synusien an bestimmte Gesteine gebunden sind.

Die bunten Gestalten des Lebens werden in der Gegenwart von Wachstumsvorgängen innerlich reguliert und von äußeren anorganischen Umständen morphologisch und räumlich beherrscht. Daraus ergeben sich die bekannten Gruppen tier- und pflanzengeographischer Verbreitung. Aber auch hier bedarf die Geographie des rezenten Lebens einer Ergänzung durch das geologische Tatsachenmaterial, und schon Wallace hat diese Beziehungen untersucht. Wer sein wundervolles „Islandlife" gelesen und seine „Tiergeographie" studiert hat, traf überall auf geologische Erörterungen, und wenn heute auch die geologische Wissenschaft vielfach neue Wege beschritten hat und von neuen Erfahrungen bereichert wurde, so behalten doch viele der von Wallace festgelegten Grundsätze noch heute ihre Gültigkeit.

Nicht das Einzelwesen, sondern die aus zahlreichen voneinander biologisch abhängigen Arten bestehende Synusie ist die eigentliche Urform des Lebens, und nur unter besonderen, meist periodisch auftretenden Umständen sehen wir in der Natur individuenreiche Schwärme derselben Art.

So müssen wir auch jede fossile Lebewelt auf die Zahl der sie zusammensetzenden Arten prüfen und werden bei dem Vorwiegen einer oder weniger Spezies auf besondere, abweichende Lebensumstände schließen müssen.

Die Grenzfugen des fossilführenden, lithologisch einheitlichen Gesteins, seine Mächtigkeit, seine Einschaltung in andere Nebengesteine und seine seitlich auskeilenden Grenzen sind der Ausdruck für die innerhalb des gesteinsbildenden Vorgangs herrschenden allgemeinen lithogenetischen Umstände und diese decken sich mit den bionomischen Umständen des vorliegenden Lebensraumes.

Alle organischen Reste dieses Gesteins, aber nur die derselben Fazies, nicht die derselben Periode, fassen wir als fossile Lebensgenossen zusammen, und wenn wir sie auch systematisch zunächst in Arten und Klassen zerlegen müssen, so bleibt doch der gesamte Fossilgehalt des Fundortes stets die Grundlage weiterer Arbeit. Eine Sammlung, in welcher alle Fundorte nach Gattungen und Arten zerlegt wurden, ist ebenso „leblos" geworden wie ein Tier, dessen Organe und Gewebe in Einzelstücke seziert worden sind.

Während die meisten Faunen und Floren aus verschiedenen Gattungen und Arten zusammengesetzt erscheinen, die innerhalb derselben Fazies häufig dasselbe Zahlenverhältnis zeigen, in welchem die Lebenskraft und Anpassungsfähigkeit der einzelnen Komponenten zum Ausdruck kommt, finden wir gelegentlich mitten zwischen der Faunengenossenschaft ein Einzelwesen, das als „Unikum" den Sammler besonders erfreut und dessen Wert wächst, wenn es der Vertreter einer fossil noch nicht oder unvollständig bekannten Gruppe ist.

Das Auftreten eines solchen Einzelfundes kann ganz verschiedene Gründe haben: In der Regel wird es sich darum handeln, daß nur dieses Exemplar gut erhalten blieb und während seines Todes oder nach der Einbettung in das Gestein allein die ursprünglichen Formen bewahrte, während zahlreiche andere Individuen zerstört wurden. Bostrichopus im Kulm, Kalligramma bei Solnhofen, Compsognathus bei Kelheim und manche andere Einzelfunde beruhen auf diesen Umständen.

Ein zweiter Fall ist es, wenn ein Individuum durch zufällig wirkende Transportkräfte aus seiner Heimat in einen anderen Lebensbezirk verschleppt wurde. Manche vereinzelte Ammonitenschalen inmitten einer Zweischalerfauna mögen diesen Fall belegen.

Aber auch bei tiergeographischen Wanderungen kann in vielen Fällen die neue Lebewelt mit versprengten Vorposten beginnen, auf die erst im Hangenden die übrige Fauna folgt. So wurde im Wellenkalk von Sondershausen ein einziges Exemplar von Ceratites nodosus gefunden, der sich erst im oberen Muschelkalk verbreitete.

Einzelfunde können auch dadurch entstehen, daß nach dem Aussterben oder Abwandern einer Fauna noch vereinzelte Relikte an günstigen Wohnorten weiter leben und sich in hangende Schichten retten. Menaspis armata und Dorypterus im Kupferschiefer gerieten wahrscheinlich auf diesem Wege in eine Fauna, die sich vom Weltmeer abgetrennt hatte.

Bei Schichten, die sich in starkbewegtem Wasser unter lebhafter Zufuhr von Sediment bilden, können auch die schon in einer liegenden Schicht eingebetteten Reste wieder aufgewühlt und in das neugebildete Hangende verlagert werden.

Das Auftreten von Fossilien älterer Ablagerungen nach deren Denudation und Umlagerung, das uns die erratische Fauna des Diluvium in so großem Stil vor Augen führt, bedarf keiner weiteren Begründung. Nur möchte ich warnen, bei jedem abgerollten Zahn und jeder defekten Muschelschale, die in das stratigraphische Faunenbild eines Fundortes nicht zu passen scheint, immer gleich an Transgression, Altersverschiedenheit oder Umlagerung zu denken.

In der Regel enthält eine bestimmte Schicht eine größere Anzahl von Formen derselben Art oder verschiedener Arten und Gattungen. Diese aber zeigen häufig im Einzelnen eine so auffallende Verteilung und Gruppierung, daß auch hier zahlreiche biologische Fragen der Lösung harren.

Allerdings sind bei der Beurteilung der biologischen Zusammengehörigkeit der nebeneinander gefundenen Fossilien die Geologen in einer ungleich schwierigeren Lage, als die Botaniker und Zoologen, die das Miteinanderleben der Pflanzen und Tiergenossenschaft direkt vor Augen haben und die biologische Abhängigkeit der Komponenten experimentell nachprüfen können.

Der Geologe hat immer nur ein Leichenfeld vor sich; tiefe Lücken trennen oft die Einzelfunde der verschiedenen Aufschlüsse, nur ein Teil der ursprünglichen Lebewelt ist erhalten und selbst diese ist oft aus ihrem natürlichen Zusammenhang gerissen.

Wir werden daher die Bildung des umhüllenden Gesteins zu beachten haben, werden die Formen der Schichtenflächen, die Mächtigkeit derselben Fazies, die klimatischen und ozeanographischen Umstände berücksichtigen müssen und die Tierreste selbst danach prüfen, ob ihre Anordnung im Gestein durch biologische Vorgänge beim Leben und Sterben oder durch nachträgliche Verrollung, Zusammenschwemmung oder Zer-

streuung entstand. Ich denke in dieser Hinsicht an die Knochenanhäufung in Höhlen, die man zunächst durch stürmische Wasserfluten erklärte, obwohl es doch recht unwahrscheinlich ist, daß ein Hochwasser, das durch felsige Täler braust, die mitgerissenen Tierleichen gerade in die versteckten Höhleneingänge hineintragen und darin anhäufen würde.

Betrachten wir zunächst das lokale Auftreten zahlreicher Individuen derselben benthonischen Art, so werden wir bei einer Mischung kleiner und großer Exemplare zunächst an die Brutstätte und an die Heimat der Art denken müssen. Aber wir müssen erwägen, daß die meisten Wassertiere eine bestimmte Laichzeit haben, daß die gleichzeitig befruchteten Eier sich in demselben Tempo entwickeln, so daß meist gleichalte, also gleichgroße Individuen zusammenleben. Planktonfänge in allen Schichten des Meeres lehren uns, ebenso wie die Beobachtung der Meeresoberfläche bei größeren Seereisen, wie groß die Schwärme von Larven der planktonischen Medusen und nektonischen Fischen sind, die derselben Art angehören, dieselbe Größe haben und gleichzeitig über weite Flächen verbreitet werden.

Auch das Auftreten vieler Varietäten einer Art in demselben Fundort wird mit Recht als Beweis für deren Heimatgebiet angesehen. Obwohl bei getrifteten Cephalopodenschalen Vorsicht geboten erscheint.

Es ist eine dem sammelnden Zoologen wohlbekannte Tatsache, daß viele Meerestiere, die normalerweise allein oder in kleinen Gruppen leben, sich zur Zeit der Geschlechtsreife in ungeheurer Zahl versammeln. Seeigel, Seesterne, Schnecken und selbst der Nautilus sind dann ungemein zahlreich. Einer der besten Kenner der heutigen Meeresfauna, Lomanco sagte mir einmal, daß es im Golf von Neapel „seltene Tiere" fast gar nicht gäbe, denn am rechten Ort und zu gewissen Zeiten fände man auch solche Formen in großer Zahl, die sonst nur vereinzelt als Irrgäste gesammelt würden.

Bei der biologischen Genossenschaft verschiedener Arten und Gattungen läßt uns die rezente Biologie wieder mehrere Fälle unterscheiden, und wenn es auch aus den oben angeführten Gründen vielfach ganz unmöglich sein dürfte, solche Beziehungen überall in der fossilen Fauna zu erkennen, so stehen wir doch hier erst am Anfang der Forschung und für diese sind prinzipielle Hinweise von größter Bedeutung.

Indem wir nach den Grundsätzen der ontologischen Methode aus den biologischen Erscheinungen der Gegenwart die wesentlichen Wechselbeziehungen unter den Organismen herausheben, tritt uns zuerst der Gegensatz autotropher und heterotropher Wesen entgegen. Nach dem früher Gesagten kann es keinem Zweifel unterliegen, daß dauerndes Leben nur mit physiologisch-autotrophem Wesen begonnen haben kann, und daß solche auch bis zur Gegenwart das Leben erhalten.

Auf dem Festland decken sich beide Begriffe ungefähr mit den Grenzen des Pflanzen- und des Tierreichs, aber im Ozean, von dessen Erscheinungen wir genetisch ausgehen müssen, werden diese morphologischen Gegensätze flüssig und bionomische Umstände beherrschen das Feld.

Nur in der von den Lichtstrahlen der Sonne durchleuchteten diaphanen Oberschicht des Weltmeeres ist autotrophes Leben möglich, alle unterhalb der Assimilationsgrenze, also durchschnittlich unter 200 m gelegenen Regionen können sich nicht selbst ernähren und sind auf Nahrungszufuhr von jener angewiesen.

Das autotrophe Plankton, die Urnahrung des Lebens, besteht aus ungemein kleinen, mit lichtempfindlichen Farbstoffen verschiedener Art versehenen Wesen, die in ungeheuren Schwärmen das Wasser der oberen Zone erfüllen, je nach Temperatur und Salzgehalt sich vermehren, zu Zeiten in Dauerformen übergehen, und von denen heute, wie in der Vorzeit alle marinen Tiere, von dem kleinsten Wurm bis zum größten Notosaurus, Plesiosaurus, Mosasaurus oder den Balaeniden, leben.

Nach ihrem Tode verwandeln sich die Schwärme solcher planktonischer Wesen in amorphen Schleim; oft sieht man auch große spiegelnde Ölflecke an der Meeresoberfläche, entstanden aus den das Schweben begünstigenden Öltropfen in dem Gewebe. Es ist verständlich, daß diese biologisch so ungemein wichtigen mikroskopischen Formen der Urnahrung des Lebens nur dann fossil erhalten werden, wenn sie widerstandsfähige Skelette besitzen.

Unter den heutigen Radiolarien gehören nur die kieselschaligen Spumellarien und Nassellarien hierzu, während die mit ihnen so nahe verwandten Acantharien und Phaeodarien vergängliche Hartgebilde haben und daher auch nicht fossil beobachtet werden. Die ebenfalls kieselschaligen marinen Diatomeen scheinen sehr rasch zu zerfallen, denn es ist auffallend, daß solche nur in litoralen Tertiärgesteinen, z. B. dem miozänen Tripel von Sizilien, oder (bedingt durch härtere Schalen) in limnischen Kieselgursedimenten bekannt sind, während ältere marine Schichten kaum fossile Diatomeen geliefert haben.

Die kalkigen Foraminiferen zeigen durch ihre oft gesteinsbildenden harten Schalen, von den karbonischen Fusulinen bis zu den Alveolinen, Nummuliten und Globigerinen, daß sie als Nahrungsquelle anderer Tiere nicht in Frage kommen.

Noch weniger bedeuten die Kalkalgen, die roten Floriden und die Braunalgen (Tange) für die Ernährung der Meerestiere, während viele zarte Grünalgen und die nachträglich vom Land ins Meer eingewanderten phanerogamen Seegräser eine wichtige Nahrungsquelle für Reptilien und marin gewordene Säuger bieten. Es ist überhaupt merkwürdig, daß die festländisch gewordenen Tiergruppen, wenn sie später wieder ins Meer

einwandern, doch nur in wenigen Fällen die reiche Nahrungsquelle autotropher Wasserwesen verwerten. Halicore und Manatus nähren sich nicht von marinen Algen, sondern von den ebenfalls festländischen Seegräsern. Alle anderen vorher festländischen und später wieder marin gewordenen Wirbeltiere sind Fleischfresser und verschmähen die Flora des Ozeans. Nur die Bartenwale verschlucken mit den planktonischen Tieren auch alle assimilierenden autotrophen Kleinwesen der Meeresoberfläche.

Wenn wir also nur ganz selten die geformten Überreste des autotrophen Planktons in älteren marinen Schichtenfolgen finden, so können wir daraus keineswegs auf eine Planktonarmut jener Perioden schließen. Denn jedes fossile Tier legt von dem Vorhandensein dieser autotrophen Wesen Zeugnis ab.

Es ergibt sich daraus, daß bei jeder Veränderung der Meeresflächen, mit dem marinen Wasser auch die autotrophe Nahrung automatisch wandert, so daß jede vom Meer neubesiedelte Bucht oder Küstenfläche sofort von einer nahrungsreichen Wassermenge erfüllt wird, in der die gleichzeitig auftretende heterotrophe Fauna ihr Futter findet.

Ganz anders liegen die Verhältnisse auf dem Festlande. Denn auch die Landfauna ist biologisch von autotrophen Pflanzen abhängig, aber diese schweben nicht in der Atmosphäre, sondern sind am Boden verankert. Wenn in der Devonzeit die ältesten luftatmenden Tiere auftreten, so bedeutet dies, daß schon eine Landflora über dem Wasserspiegel existiert haben muß und die zunehmende Häufigkeit solcher Landtiere während der Karbon- und besonders der Permzeit kann nur dadurch erklärt werden, daß immer größere Flächen des Festlandes von Pflanzen besiedelt waren.

Welche biologische Umstellung aller Lebensfunktionen notwendig damit verknüpft war, daß ehemalige Wasserpflanzen in das Medium der trockenen, stürmischen Atmosphäre eindrangen, haben wir früher angedeutet. Eins aber ist klar: die Spaltöffnungen mußten schon unter Wasser gebildet worden sein, wenn sie beim Auftauchen über dem Wasser funktionieren sollten.

Wir dürfen aber weiterhin annehmen, daß die Entwicklung einer schützenden harten Epidermis, von elastischem Fasergewebe und von rhythmisch entstehenden Wachstumsringen des Holzkörpers, sich erst allmählich herausbildete und müssen nach den vermittelnden Übergangsformen suchen, deren Haut noch hinfällig war, deren Holzgewebe leicht zu „Häcksel" zerbrach und deren Jahresringe noch undeutlich entwickelt sind. Denn der jahreszeitliche Wechsel des Klimas kann auf eine unter dem Wasser wachsende amphibisch lebende Pflanze nicht einwirken.

Neben dieser erstmaligen Besiedelung des trockenen Landes durch autotrophe Pflanzen besteht aber auch für die ganze Folgezeit ein grundsätzlicher Gegensatz zu der autotrophen Flora des Meeres. Denn jeder auftauchende Kontinent ist eine Insel, die rings von Wasser umgeben,

nur durch Brücken und Untiefen mit anderen insularen Festländern verbunden wird.

Sobald sich ein Archipel aus dem Meere hebt und seine Gipfel oder Untiefen sich zu einem geschlossenen größeren Festland zusammenfügen, ist dieses zunächst noch für Tiere unbewohnbar.

Bei den durch Polverschiebungen immer wieder verlagerten Klimazonen ist es nun für die Besiedelung eines neu entstandenen Festlandes von der größten Bedeutung, unter welchen klimatischen Umständen es entsteht, welches Klima auf dem nächsten schon belebten Kontinent herrscht, welche Anpassungen die dort lebende Flora an das Klima erreichte und welche Transportmittel durch Wasserströmungen und Wind für die Verbreitung der Flora zu Gebote stehen. Die Tiergeographie der Gegenwart zeigt uns in dieser Hinsicht so seltsam verschlungene Wanderwege, daß wir diese verwickelten Vorgänge hier nur andeuten können. Aber viele merkwürdige Tatsachen in der stratigraphischen und geographischen Verbreitung von Glossopteris, Cycadeen, Koniferen und Laubbäumen lassen uns erkennen, wie schwer manche Meeresbrücke überschritten, wie leicht andere Landverbindungen von der Flora des Landes benutzt werden konnten.

Wir zerlegten die gesamte Organismenwelt der Gegenwart in zwei durch ihr Lebensmedium grundverschiedene und durch den Wasserspiegel scharf getrennte Welten, und gliedern dieselben nach ihrer Lebensweise wieder in je zwei voneinander notwendig bedingte Gruppen:

I. Die Wasseratmer (Hydropneusta), unter dem Wasserspiegel, vorwiegend durch die äußere Haut, in assimilierendem Stoffwechsel mit den im Wasser gelösten Stoffen begriffen.	1. autotroph: sich mehr oder weniger von anorganischen Lösungen nährend, als Plankton freischwebend, oder als Benthos am Boden lebend; 2. heterotroph: vorwiegend von vorhandenen organischen Stoffen lebend, als Plankton schwebend, als Nekton schwimmend oder als Benthos in Abhängigkeit von der Fazies des Untergrundes.
II. Die Luftatmer (Aeropneusta), über dem Wasserspiegel meist durch besondere, in die Gewebe eingesenkte Atmungsorgane die atmosphärische Luft verbrauchend, wobei die Hautatmung zurücktritt.	1. autotroph: festgewachsene chlorophyllhaltige Pflanzen; 2. heterotroph: freibewegliche Tiere und manche farblose Pflanzengruppen.

Jede dieser Reihen ist in ihrer Ernährung von der andern ziemlich unabhängig und beide würden sich, da sie phyletisch eng verwandt sind, in ähnlicher Weise umbilden und in ihren Gestalten wandeln, wenn nicht ihre Umwelt durch besondere geographische Verhältnisse in Zeit und Raum verschiedene Verbreitungsbedingungen erkennen ließe.

Die Wasserwelt, als die ältere Reihe, ist eingeschlossen in das unendliche Weltmeer, das seit dem Untersilur einen einheitlichen Wasserkörper bildet, weil seitdem eine monophyletische Fauna in allen Perioden das Meer erfüllt. Zwar starben im Laufe derselben eine ganze Anzahl untersilurischer Tiergruppen aus, aber es entstehen keine neuen Tierklassen, und bei allem Wechsel in den verschiedenen Synusien sind doch alle, räumlich wie zeitlich, durch allmähliche Substitution der Formen miteinander untrennbar verknüpft, während die kambrische Tierwelt noch die Züge einer anderen, älteren Lebewelt trägt, die sie in scharfen Gegensatz zu den postsilurischen Tierkreisen setzt.

Wenn wir von den Eisbarrieren der Polarmeere absehen (die aber nur die litoralen Gewässer und die obersten Schichten der Hochsee sperren), ist der große Wasserkörper des Weltmeers eine einheitliche Masse, innerhalb deren eine einheitliche Lebewelt gedeiht. Wellen und Meeresströmungen bewegen die einzelnen Teile des Weltmeers immer durcheinander, vertikale Sinkströme und aufsteigende Wassermassen vermischen die Fluten der nahrungsreichen diaphanen Oberschicht mit den stagnierenden Gewässern der Tiefen, und so wird das gesamte Weltmeer durch eine einheitlich gesalzene Lösung von rund 3,5 % Salzgehalt erfüllt, deren Bestandteile zwar in geringen Grenzen örtlich schwanken, aber durch die Wasserbewegung immer wieder vermischt werden.

Wäre das Weltmeer nur ein einziges Mal seit dem Untersilur durch fortlaufende Landbrücken in zwei Hälften getrennt worden, so hätte sich bald durch die einströmenden Flüsse jede derselben chemisch anders entwickelt und es wäre zu einer Zweiteilung der phyletischen Linien gekommen, die man paläontologisch bis zu dieser zeitlichen Trennungsfläche verfolgen könnte. Die Kontinuität aller fossilen marinen Faunen beweist das Gegenteil.

Aber wie das Meer der Gegenwart in eine Anzahl Lebensbezirke zerfällt, deren Floren und Faunen viele Sonderheiten zeigen, und die nur an ihren Grenzen durch Übergänge verbunden sind, so hat es stets solche Lebensbezirke gegeben, innerhalb deren je eine eigenartige Synusie verbreitet war.

Es ist nun eine biologisch überaus merkwürdige paläontologische Erfahrung, daß

1. in jeder der zwölf großen Zeitperioden eine systematisch einheitliche Lebewelt das Meer erfüllte, die in jedem marinen Lebensbezirk eine

etwas andere Zusammensetzung erkennen läßt, aber durch gemeinsame Züge chronologisch leicht einzuordnen ist;

2. daß diese Synusien stets aus wohl unterscheidbaren Arten oder Endformen des Formenwechsels bestanden und daß die vermeintlichen variablen Formenkreise in der Vorzeit ebenso selten waren, wie sie es in der Gegenwart unter natürlichen Bedingungen sind;
3. daß zwischen den zeitlich verschiedenen Lebenskreisen der einzelnen sich folgenden Perioden bisweilen scharfe Grenzflächen durch tiefgreifenden Mediumwechsel oder Fazieswechsel bedingt sind, meist aber andere Schichtenfolgen unter ausgesprochener Wechsellagerung der Gesteine oder in isopisch gleichen Faziesgesteinen eine fortlaufende Substitution der Arten erkennen lassen, als deren Endergebnis eine neue Fauna oder Flora auftritt;
4. treten immer neue Arten auf, sobald eine solche endgültig ausgestorben ist, und auch hier sehen wir keine durch Variationsreihe vermittelten Übergänge;
5. eine einmal regional ausgestorbene Synusie erscheint nie wieder in derselben systematischen Zusammensetzung.

Diese für die marine Tierwelt allgemein geltenden Sätze erleiden bei Betrachtung der Süßwassertiere und der in salinischen Salzseen lebenden Formen mancherlei Abweichungen: Wir sehen hier gelegentlich Formen von staunenswerter Artkonstanz und wenn auch kleine Unterschiede zwischen solchen Arten existieren, so überrascht uns doch z. B. die große morphologische Ähnlichkeit zwischen einer karbonischen und einer tertiären Pupa oder Zonites, und einer oberkarbonischen oder rezenten Blattide, einer devonischen oder kretazischen Estherie.

Aber noch viel eindrucksvoller als diese, nur teilweise dem Festland eingereihten Formenkreise abweichend gesalzener Gewässer, ist die eigentliche Lebewelt des trockenen Landes. Hier zeigt schon die tiergeographische Verbreitung der heutigen Faunen die oft hervorgehobene Erscheinung, daß die Organismenwelt zweier chronologisch grundverschiedener Perioden gleichzeitig auf verschiedenen Kontinenten leben können. Hat man doch mit Recht die Fauna von Australien als eine „untertertiäre“ Lebewelt bezeichnet; trägt doch jede kleine Insel, wie dies R. Wallace so eindrucksvoll besprochen hat, einen individuellen Charakter.

Und wenn wir in der Erdgeschichte zurückblättern, so tritt uns immer wieder bald klar, bald verschleiert der Gegensatz in der Entwicklungsweise mariner und festländischer Formenkreise entgegen. Der lange Kampf um die Glossopterisflora, die vergeblichen Versuche, Dinosaurier oder Elephanten zum Gliedern der Zeiträume zu verwenden, die so anders verlaufende Umbildung der Meeresfauna und der Landflora — alles drängt zu der Überzeugung, daß die Faktoren, die den schritt-

weise, automatisch und unbeirrbar erfolgenden Schritt des marinen Formenwechsels regeln, auf den Festländern durch andere Kräfte in anderer Gruppierung erscheinen und daß unter ihrem gesetzmäßigen Einfluß auch der Formenwechsel des Lebens hier in anderem Rhythmus, mit anderen Schritten erfolgt.

Bevor wir aber diesen Gedanken weiter ausführen, müssen wir die Beziehungen zwischen gleichzeitig lebenden Gliedern derselben Synusie näher betrachten, denn was die biologischen Erscheinungen innerhalb eines Lebensbezirkes und an seinen seitlichen Grenzen regelt, das gilt, historisch betrachtet, auch für die Übergänge von einer geologischen Periode zur andern.

Die wesentlichen Lebensfunktionen: Nahrungsaufnahme und Fortpflanzung bestimmen in erster Linie das Zusammenleben der Organismen und damit alle Formen der Synusien. Das Zusammenauftreten einzelner Personen derselben Art, ihre Zahl, ihre Größe und ihr Alter, die systematische Zusammensetzung einer Fossilliste von Pflanzen und Tieren, Benthos, Nekton, Nekroplankton und Plankton, aus wenigen oder vielen Arten, Gattungen und Familien — alle diese Tatsachen sind zunächst das Ergebnis der Vorgänge von Nahrung und Entwicklung, nachträglich mehr oder weniger verändert durch die Vorgänge des Todes und das postmortale Verhalten der Hartgebilde. Um diese verwickelten Wirkungen, die wir an jedem fossilen Fundort vor Auge haben, zu zergliedern und zu verstehen, genügt die systematische Aufzählung der Artenliste ebensowenig, wie die morphologische Vergleichung der Fossilreste mit älteren oder jüngeren Formen. Nur die sorgfältigste Untersuchung des umhüllenden Gesteins, vom diluvialen Löß bis zum kambrischen Schiefer, von der rezenten Düne bis zum algonkischen Birikalk vermag dem denkenden Paläontologen das Rüstzeug zu geben, mit dem er selbständig und auf neuen Wegen die Probleme des Lebens enthüllen kann.

Was man neuerdings als „Sedimentpetrographie" bezeichnet, was aber besser und kürzer Lithologie genannt zu werden verdient, weil es nicht nur beschreiben, sondern auch ursächlich erklären will, umfaßt den Zweig der allgemeinen Paläontologie, der im Laufe der letzten Jahre in seiner großen erdgeschichtlichen und biogenetischen Bedeutung erkannt worden ist, und auch die Synusien der fossilen Lebewesen sind nur auf Grund lithologischer Untersuchungen in der Natur richtig zu verstehen.

Alle chemischen und physikalischen Laboratoriumsversuche, welche die Bildung irgend eines fossilleeren oder fossilführenden Gesteins erklären sollen, sind mit grundsätzlichen Fehlerquellen behaftet, die man nur teilweise ausschalten kann.

So hat auch noch niemals ein Experiment grundlegenden Einfluß auf den Gang geologischer Forschung gewonnen.

Die in vielen Naturwissenschaften so unbedingt herrschende experimentelle Forschungsmethode beruht im wesentlichen darauf, daß es möglich ist, bei chemischen oder physikalischen Erscheinungen alle „störenden" Nebenwirkungen auszuschalten. Man arbeitet mit chemisch reinen Stoffen in chemisch indifferenten unangreifbaren Gefäßen, man schaltet bei physikalischen Versuchen alle Nebenursachen aus, isoliert das elektrische, optische oder akustische Feld von allen natürlichen oder zufälligen Einflüssen der Umwelt und gewinnt dann reine, abstrakte Zahlenwerte, deren Sicherheit um so größer wird, je genauer die Einzelzahl bestimmt wird.

Die geologischen Vorgänge sind aber ganz anderer Art, denn keine einzige geologische Kraftquelle kann von den zahlreichen mitbestimmenden Ursachen losgelöst werden.

Ebenso wie der letzte Wassertropfen, der ein gefülltes Gefäß zum Überlaufen bringt, ganz anders bewertet werden muß, wie alle vorher hineinfallenden Wassermengen, und wie eine zuletzt kommende, ganz anders verursachte Erschütterung des Gefäßes die vorhandene Spannung auslöst, die sie nicht erzeugte, so bilden die externen und internen geologischen Kräftequellen ein sich gegenseitig hemmendes oder steigerndes System ganz verschiedener Kraftreihen, das durch irgendeine an sich geringfügige Nebenursache in einer Richtung ausgelöst werden kann, die von den vorher allein wirkenden Kräften nicht notwendig vorgezeichnet war. Sobald aber eine solche Spannung in einer bestimmten Richtung, wenn auch zunächst kaum merklich, ausgelöst wurde, ist dieser Umstand entscheidend für den ganzen Weiterverlauf des Vorganges.

So wird es ganz unmöglich, daß polydyname Wechselspiel der geologischen Kräfte auf eine monodyname Ursache zurückzuführen, die man experimentell nachprüfen könnte, denn je mehr man bestrebt ist, alle Nebenursachen auszuschalten, desto unähnlicher werden die Bedingungen des Experimentes den wirklichen Umständen des natürlichen geologischen Geschehens.

Hierzu kommt aber ein anderer, alle geologischen Vorgänge beherrschender Grundsatz. Denn während man bei physikalischen oder chemischen Versuchen große Wirkungen durch eine äquivalente Steigerung der Ursache zu erklären gewohnt ist, gewinnen bei geologischen Vorgängen die Dimensionen des Raumes und der Zeit eine grundlegende Bedeutung.

Kleine, fast unmerkliche Ursachen erreichen die größten Wirkungen, weil sie sich in ungeheuer langen Zeiträumen vollziehen, und eine örtlich kaum merkbare Veränderung gewinnt ungeheure Macht, weil sie in großen Räumen gleichzeitig tätig ist.

Auch in dieser Hinsicht führt das Experiment im Laboratorium zu einer unrichtigen Beurteilung der natürlichen Vorgänge und ihrer bleibenden Wirkungen in Raum und Zeit.

Zu den genannten Schwierigkeiten tritt aber zuletzt noch ein vielfach unbeachtetes, aber ungemein wichtiges Moment: die Organismenwelt.

Die abiologische Einstellung der älteren Geologie bedingte es, daß die Mitwirkung organischer Vorgänge bei geologischen Erscheinungen nicht in Rechnung gezogen wurde. Zwar kannte man die sich beständig wandelnden Arten der Vorzeit, deren unverwesliche Hartgebilde alle Schichtgesteine erfüllen und oft in solcher Menge die Felsen durchschwärmen, daß alle Übergänge von fossilleeren oder mit den Resten verwester Weichteile getränkter bituminöser Schiefer zu fossilarmen, fossilreichen und endlich zu den nur aus Kalkschalen oder Pflanzenresten bestehenden organischen Gesteinen hinüberleiten.

Wir müssen uns darüber klar sein, daß mit Ausnahme der kristallinen Magmagesteine und der eingelagerten Niederschläge, fast alle Gesteine der Erdrinde unter der Mitwirkung von Organismen gebildet worden sind. Wenn auch die Sedimente der altzeitlichen Urwüste davon eine Ausnahme machen, so ist doch kein einziges marines Sediment ohne den Einfluß lebender oder absterbender Wesen entstanden. Die heute immer weitergreifende Auffassung der kristallinen Schiefer als umgewandelte Sedimente (Paragneise) rückt daher auch diese, von der älteren Geologenschule als rein chemische Absätze betrachteten mächtigen Gesteinsfolgen in den Einflußbereich des organischen Lebens. Alle Felsarten, die über der unteren Grenze der Fossilführung in der Erdrinde übereinander gelagert sind, können nur unter Berücksichtigung biologischer Tatsachen verstanden und genetisch erklärt werden.

Ein dichter mariner Kalk oder ein daraus entstandener Dolomit läßt sich abiologisch überhaupt nicht verstehen und der Bitumengehalt eines altzeitlichen Schiefers rollt nicht so sehr chemische, wie bakterielle Probleme auf.

Die größten lithologischen Aufgaben liegen auf dem Gebiet der Mikroben, die in ihrer lebenfördernden (Stickstoffbakterien, Zellulose-spaltende Bakterien im Magen der Wiederkäuer und Nagetiere) oder lebenzerstörenden (pathogene Mikroben) Wirkung alle Lebensvorgänge der rezenten Pflanzen und Tiere bestimmen. Jeder fossile Zahn eines Nagetiers oder Pflanzenfressers beweist die damalige Existenz solcher Kleinwesen, keine Kohlenschicht ist ohne sie verständlich. Wenn daher auch die Angaben von Meunier über karbonische Bakterien, oder von Walcott über algonkische Mikroben kritische Bedenken erweckten, so darf man doch nicht daran zweifeln, daß seit dem Kambrium zahllose Schwärme dieser Kleinwesen in enger Abhängigkeit mit den fossil bekannten Tierresten zu Synusien verbunden waren.

Die in engerer Abhängigkeit von anderen Lebewesen lebenden höheren Einzelformen werden in mehrere Gruppen eingeteilt:

Als **Parasiten** bezeichnet man solche Pflanzen oder Tiere, die sich auf (Ektoparasiten) oder in (Entoparasiten) anderen lebenden Wesen ansiedeln und ihnen ihre Nahrung entnehmen ohne denselben Gegendienste zu leisten.

Die Frage, ob sie ihre ganze (Holoparasiten) oder nur einen Teil (Hemiparasiten) ihrer Nahrung auf diesem Wege erhalten, ebenso wie die, ob sie dauernd (permanente Holoparasiten) oder vorübergehend (periodische) diese Lebensweise führen, ob sie ihren Wirt behalten (autoeocisch) oder wechseln (heteroeocisch) verwickelt das Problem in jedem einzelnen Fall.

In der fossilen Lebewelt ist der Fall von Myzostomum besonders interessant, eines parasitischen Chaetopoden, der ebenso im Stiel rezenter Cinoiden schmarotzt, wie er die Säule des jurassischen Millericrinus deformierte. Hier ist der Parasitismus durch eine Kette von Zeiträumen vererbt worden, ein Zeichen wie wichtig er für beide Tiere war.

Man bezeichnet diese Nahrungsentziehung auch als Commensualismus und unterscheidet von diesem die Raumparasiten, die nur äußerlich auf einem anderen Lebewesen angehaftet sind. Echte parasitische Lebensweise ist heute bei allen Tiergruppen, mit Ausnahme der Echinodermen und Tunikaten bekannt, aber auch fossil weit verbreitet. So kennt man im Silur: Agelacrinus auf Brachiopoden, Platyceros auf Marsupiocrinus, im Devon: Aspasmophyllum auf Crinoiden und viele andere Beispiele aus dem Mesozoikum.

Von den auf lebenden Wesen angesiedelten Parasiten müssen die von abgestorbenen organischen Massen lebenden Saprophyten unterschieden werden.

Dem biologisch einseitigen Parasitismus steht, durch Übergänge mit ihm verbunden, die Symbiose gegenüber, welche alle Fälle umfaßt, wo Wirt und Gast dauernd gesetzmäßig zusammenleben und sich gegenseitig fördern. Betrifft dies nicht nur Einzelwesen, sondern ganze Gruppen sozial verbundener Tiere, so spricht man von Synoekie. Die Symbiose der Flechten ist das bezeichnendste Beispiel der Gegenwart.

Eine eigentümliche Symbiose bietet die im Silur so häufige Gattung Caunopora, welche R. Roemer als ein Doppelwesen, bestehend aus einer Stromatoporide, welche Korallenstöcke umwachsen hat, erkannte.

Als Symbiose möchte ich auch Pleurodiktyum bezeichnen, wo ein Korallenstock fast regelmäßig eine Wurmröhre umschließt. Im tropischen Meere lebt heute die pfenniggroße Einzelkoralle Heteropsammia, vereint mit einem Wurm, der den kleinen Korallenstock über den Meeresgrund bewegt und dadurch wohl in immer neue Nahrungsgebiete bringt. Auf der Insel Scheduan fand Verworn eine damit verwandte Korallengattung, die nicht als Einzelperson, sondern in flachen Stöcken von 2—3 cm Durchmesser auftritt, deren gerundete Unterseite an einen irregulären Seeigel

erinnert, während auf der Oberseite 8—15 Korallenkelche sichtbar sind. Wie bei Heteropsammia ist die Basis von einer Wurmröhre durchzogen, dessen Bewohner sogar durch seine Bewegungen den kleinen Korallenstock bilateral zu wachsen zwang.

Wichtige Schlüsse hat M. Metcalf aus solchem biologischen Zusammenleben gezogen, der für die Verbreitung der Anuren ihre Parasiten berücksichtigte und durch diese doppelte Datenreihe mit größerer Sicherheit die Herkunft und die Wanderung der Frösche erschließen konnte.

Wahrscheinlich wird manche Fossilliste, die man bisher mit anderen Listen nur nach der Artenzahl nummerisch verglichen hat, eine neue Bedeutung gewinnen, wenn man die in der einen oder anderen Faunenliste fehlenden Formen nach ihrer biologischen Bedeutung zu würdigen versucht.

Wenn wir von den Einzelformen absehen, und die Abhängigkeit ganzer Lebensgenossenschaften voneinander betrachten sollen, so tritt uns zunächst als wichtigstes Regulativ für die Verbreitung jeder Fauna ihre Abhängigkeit von der Nahrung entgegen. Die Ausdrücke herbivor und karnivor bezeichnen nur einen Teil dieser Beziehungen. Wir müssen immer daran festhalten, daß nur assimilierende Pflanzen organische Stoffe aus der leblosen Welt bilden und aufspeichern. Mögen sie als freilebende grüne, gelbe, braune oder rote Pflanzen assimilieren und dadurch den Pflanzenfressern ihre Nahrung bieten, oder mögen gefärbte Algenzellen in Symbiose mit Tieren, deren Gewebe erfüllen und diese befähigen, auch ohne Mund, ohne Kiefer, ohne Tentakeln und andere Greiforgane pflanzliche Nahrung zu genießen.

Es ist auffallend, daß die Trilobiten und selbst die silurischen Fische weder Kiefer noch Kaubeine besitzen und daß das Auftreten der ersten Raubtiere in die Karbonzeit fällt, in dieselbe Periode, in der organische Kalke so weit verbreitet und mächtig werden. So läßt sich der Gedanke nicht von der Hand weisen, daß beide Erscheinungen in ursächlichem Zusammenhang stehen, und daß die zahlreichen Schaltiere, die in den ältesten Perioden nur als unbeschalte Weichtiere lebten, dann zum Schutz gegen die Wasserbewegung ihre Kalkpanzer bildeten, erst dann lebhafteren Anteil an der Entstehung organischer Trümmerkalke nahmen, als die ältesten Raubtiere im Meere entstanden waren und deren Beute wurden. Sind doch, wie wir früher zeigten, die meisten organischen Trümmerkalke eine Wirkung der Fische und Krebse, die bei ihrer Nahrungssuche die Kalkpanzer der Schaltiere zerbrechen.

Die ursprünglichste Synusie von Personen derselben Art ist die zwischen zwei aufeinanderfolgenden Generationen, also das Verhältnis von Mutter und Kind, das durch die Geburt oder die Eiablage sofort oder erst nach einer Zeit der Brutpflege abgeschlossen wird. Die Kolonien der silurischen Graptolithen mögen als Beispiele solchen Zu-

sammenlebens gelten. Welche Bedeutung dieses Urphänomen für die Entwicklung menschlicher Kultur besitzt, kann hier nur angedeutet werden.

Ein zweiter, überaus häufiger, damit zusammenhängender Fall ist das Zusammenkommen geschlechtsreifer Tiere bei der Paarung. Besonders die Meerestiere sind meist darauf angewiesen, daß die Befruchtung außerhalb des elterlichen Körpers im Wasser erfolgt. Zu diesem Zweck sammeln sich benthonische Echinodermen, Gastropoden oder nektonische Krebse und Fische an besonderen Plätzen, und im bewegten Wasser mischen sich die Spermatozoen mit den Eizellen, um dann als Meroplankton durch Strömungen weiter verbreitet zu werden.

Das paarweise Auftreten der kleinen Leptolepis sprattiformis im Malm von Langenaltheim bei Solnhofen könnte als ein Paarungsplatz aufgefaßt werden.

Aber auch Delphine und Wale suchen nach langen Wanderungen besondere Paarungsplätze auf und für die Verbreitung der Ichthyosaurier mögen ähnliche Umstände bestimmend gewesen sein.

Oft bleiben die Jugendformen zu Schwärmen derselben Art vereint (Fischzüge, Vogelzüge) und solche Fälle können gelegentlich auch fossil angetroffen werden.

Auch die Stockbildung muß als eine Lebensform betrachtet werden, bei der mehrere Generationen derselben Art zur Bildung von individuenreichen Synusien führen.

Eine andere Ursache zur Bildung von personenreichen Synusien derselben Art ist das gemeinsame Nahrungsbedürfnis, welches zum periodischen Besuch von Futterplätzen Veranlassung gibt; solche Erscheinungen mögen vielfach mit den vorhin erwähnten Schwarmbildungen zusammenfallen. Es sind sowohl marine wie limnische Fische, aber auch marine Reptilien, Säugetiere und Vögel, die durch solche Ursachen zusammengeführt werden. Manche Phosphorite und bituminöse Schichten mögen ihren Mineralgehalt durch die Exkremente von Tierscharen erhalten haben, die im Wasser darüber in größeren Mengen ihre Nahrung fanden.

Bei jeder andauernden Änderung des Salzgehalts eines Wasserbeckens, sei es durch brackisches Aussüßen oder durch Verdunstung salinischer Gewässer, findet eine so starke Auslese der vorher vorhandenen artenreichen Lebensgenossen statt, daß nur besonders anpassungsfähige Arten übrig bleiben und den vorhandenen Lebensraum rasch mit zahlreichen Personen erfüllen. Nur ganz vereinzelt finden wir dann zwischen dem aus einer einzigen leitenden Art bestehenden Fossilgehalt einige seltene Vertreter anderer Formen. Die Fischfauna permischer oder triadischer Seen ist ebenso ein sprechendes Beispiel für diese eigenartige Selektion wie die Posidonomyen des Karbon oder manche Inoceramenfaunen der Kreide.

Aber neben diesen auf Lebensvorgängen beruhenden Erscheinungen tritt dem sammelnden Geologen viel häufiger die mechanische Auslese bestimmter Formen entgegen, denen die Hartgebilde nach dem Tode unterliegen. Die Aufbereitung und Sortierung von Schalen verschiedener Formen und verschiedener Struktur spielt besonders bei litoralen Ablagerungen eine große Rolle, beherrscht aber ebenso alle küstenfernen Untiefen und viele Faziesgebiete des Wassers, zu denen Wellenschlag und Strömungen, Windstau und Brandung reichen.

Die Ansammlung und das Auftreten von Graptolithen, von Fusulinen und Nummuliten, von Radiolarien, gemischt mit Pflanzenresten oder ohne solche, von kugligen Cystoideen, von Hyolithen und Tentakuliten, von Orthoceratiden, Goniatiten, Ammoniten und Belemniten ist nicht so sehr eine Frage ihrer Lebensweise, als der postmortalen passiven Verfrachtung ihrer Gehäuse, und je lebensärmer der betreffende Ablagerungsort im übrigen ist, desto auffallender tritt uns die aus solchen Treibkörpern bestehende Fauna entgegen. Denn hier bestimmt nicht die Geburt oder die Nahrung die Zusammensetzung der fossilen Fauna, sondern nur deren Tod.

Einer gesonderten Betrachtung bedürfen Synusien, die sich aus Personen mehrerer Arten zusammensetzen. Bei seinen Untersuchungen über die Fruchtbarkeit der Arten und der dadurch bedingten Vermehrung ihrer Zahl kam Darwin zu dem überraschenden Ergebnis, daß jede Art nach wenigen Generationen durch ihre Nachkommen den ganzen verfügbaren Lebensraum erfüllen müsse und daß der Kampf ums Dasein unter den Geschwistern beständig die weniger der Umwelt angepaßten Individuen auslese, um damit die zweckmäßigen Artcharaktere zu erhalten und zu verstärken.

Aber der nur auf die Artbildung gerichtete Blick des großen Biologen übersah dabei eine andere, nicht minder wichtige Folge der durch lange Generationen vererbten Eigenschaften.

Keine Art der heutigen Flora oder Fauna, aber ebenso wenig irgend eine Form der geologischen Vorzeit lebte allein, und die lokalen Fundplätze mit einer einzigen Spezies finden wir verstreut zwischen gleichaltrigen andern Fundorten, die mit andern, meist zahlreicheren Arten erfüllt sind. Mag auch die biologische Abhängigkeit autotropher Wesen geringer sein als die physiologische Bindung der heterotrophen Tiere — erfahrungsgemäß sind Reinzuchten einer einzigen Art heute nur Produkte mühsamer künstlicher Zuchtwahl und dauernder Kontrolle —, in der Natur herrscht die Vielheit der systematisch verschiedenen zusammenlebenden Formenkreise.

Die einzelne Art, die wir von ihren natürlichen Lebensgenossen in unsern Museen getrennt aufbewahren, ist ein Kunstprodukt des Denkens, nicht eine natürliche Einheit, und tritt auch in der freien Natur uns nur vereinzelt entgegen. Wir können es paläontologisch durch alle Zeit-

räume verfolgen, daß artenreine Horizonte, selbst wenn sie ungemein individuenreich auftreten, doch nur eine kurze Lebensdauer zeigen und rasch von andern Gesteinen mit anderem Fossilgehalt überlagert werden.

Es ist, als wenn sich die Natur gegen die Reinzucht sträubte und, sobald es ihr möglich ist, die aus verschiedenen Arten bestehende normale Synusie wieder herzustellen suchte.

Je normaler ein Meeresteil gesalzen ist, je günstiger die Lebensbedingungen eines Festlandes sind, desto formenreicher ist die dort lebende Flora oder Fauna und überall wird das biologische Optimum einer Periode durch die artenreichste Faunenliste dargestellt.

Der vorhandene Lebensraum wird von einer artenreichen Fauna besser ausgewertet als von einer einzigen Art, und wenn diese in beständiger Inzucht ihre Individuenzahl vermehrt, so zerstört sie durch ihren einseitigen Stoffwechsel mit steigender Intensität ihre Lebensbedingungen.

So wird die wichtigste Frage der allgemeinen Paläontologie die nach dem Formenreichtum eines Fundortes, und wenn wir nachweisen können, daß derselbe nicht durch postmortale Drift, sondern durch die Vorgänge des Lebens bedingt war, gewinnen wir ein biologisch unanfechtbares Urteil über die frühere Verbreitung des Lebens und über die ursprüngliche Heimat einzelner Formenkreise.

Obwohl alle in einem bionomisch umgrenzten Lebensbezirk lebenden Arten als einheitliche Synusien bestrebt sind, den Lebensraum so vollständig wie möglich zu erfüllen, d. h. alle darin gebotenen Lebensbedingungen restlos auszunützen, so ist doch gerade dadurch ein beständiger Wechsel in der Häufigkeit der einzelnen Arten bedingt. Jede Art würde für sich allein den Lebensraum volllständig und mit Ausschluß anderer Formen ausfüllen, wenn sie nicht biologisch abhängig von anderen Lebewesen wäre und wenn nicht ein beständiger Konkurrenzkampf waltete. Das Darwin'sche Prinzip des Kampfes um das Dasein, das man mit Unrecht als die einzige Ursache der Umbildung der Arten betrachtet, gilt uneingeschränkt für die gleichzeitig in einem Lebensbezirk lebenden Formen. Es kann eine Art in einem Teilgebiet desselben fehlen und ihre biologische Funktion von anderen Arten übernommen werden, während jene in der weiteren Umgebung in vielen Exemplaren verbreitet ist.

Aus diesem Grunde erscheint es nicht richtig, wenn man einen Fundort oder eine in einem bestimmten Horizont auftretende Fauna deshalb für altersverschieden hält, weil eine in anderen Fossillisten vorhandene und durch guterhaltene Exemplare auffallende einzelne Art sich dort nicht findet. Viele stratigraphische Diskussionen wären nicht entstanden, wenn man die Fossillisten als Synusien betrachtet hätte, deren einzelne Komponenten nur im biologischen Zusammenhang verständlich sind.

Indem wir aber die Synusien der Vorzeit nicht allein in ihrer wechselnden flächenhaften also gleichaltrigen Verbreitung betrachten, sondern ihr Wandern durch fortlaufende Zeiträume vom Liegenden zum Hangenden erdgeschichtlich verfolgen, eröffnen sich uns ebenfalls neue Wege, um den Schematismus, der in der stratigraphischen Zonengliederung enthalten ist, zu überwinden und die Artenlisten aufeinanderfolgender Zonen als Werdegang des Lebens zu deuten. Denn wenn es sich darum handelt, die Vorfahrenreihe einer einzelnen, besonders interessanten Form zu enträtseln, genügt die morphologische Beschreibung und phyletische Aneinanderreihung der möglicherweise orthogenetisch zusammenhängenden Formen nicht. Dieser, so oft angewandten Methode und den mit ihr gewonnenen Stammbäumen haftet eine solche Unsicherheit an, daß der Wert ihres Ergebnisses durchaus schwankend bleiben muß.

Wenn wir aber eine solche Form, umgeben von einer charakteristischen Synusie in einer Zone auftreten sehen, und sie im weiteren Verlauf der historischen Entwicklung mit derselben Synusie verbunden weiterlebend verfolgen können, dann gibt uns die Vorfahrenreihe jener Synusie Fingerzeige dafür, wo und unter welchen Lebensgenossen wir die Ahnen jener Einzelform erwarten können.

Ich möchte an dem Beispiel des fossilen Menschen diesen Weg kurz andeuten: Die ältesten Hominidenreste beobachten wir in Europa, und zwar in der der diluvialen Vereisung vorausgehenden Endperiode der Tertiärzeit in Mitteleuropa.

Der Fund bei Mauer an der Elsenz führt uns zurück in die oberpliozäne Zeit, deren Fauna bei Mosbach in einer gleichaltrigen formenreichen Synusie, aber ohne Menschenreste, gefunden wird. Die Knochen von Hippopotamus erinnern uns an die klimatischen Verhältnisse des oberen Nil bei Atbara, wo der gleichnamige Fluß einen großen Teil des Jahres völlig trocken liegt, während in dem nahen Nil bis in altägyptische Zeit Nilpferde heimisch waren. Vor Erbauung der Atbarabrücke setzte eines Tages die Atbaraflut so rasch ein, daß nach einer Stunde das hochangeschwollene Wasser jeden Verkehr zwischen den beiden Ufern unterbrach. Es kann also in einem solchen halbariden Gebiete im Abstand von wenigen Stunden selbst die Fauna großer Säugetiere eine ganz andere Zusammensetzung haben.

Von diesem Standpunkt aus betrachten wir die Synusie, innerhalb deren der Urmensch in Europa erscheint:

Vom Hunsrück, Taunus und Odenwald flossen am Ende der Tertiärzeit die Regenwasser nach der Rheinebene und bildeten bei Mosbach eine sumpfartige Erweiterung, in der sich neben andern Großtieren, die Nilpferde wohlfühlten. Das Wasser floß von hier nach Süden einem „Gegenrhein“ zu. Der Flußlauf des Neckar aber lag, wie der Atbara, einen großen Teil des Jahres trocken, so daß sich hier trotz der geo-

graphischen Nähe die Nilpferde nicht halten konnten. Wo das trockne Elsenztal in das ausgetrocknete Neckartal mündete, war dessen Bett mit den Geröllen aller der Felsenarten überstreut, die in seinem Oberlauf anstehen. Als nun gewaltige Wolkenbrüche sich auf dem Südabhang des Odenwaldes entluden, stürzte die stürmische Wassermasse aus dem Granitkern über die Buntsandsteindecken herunter, kreuzte das trockene Neckartal, nahm die dort liegenden Gerölle mit sich und flutete südwärts bis nach Mauer. Hier bildete das Wasser einen Stausee, der von weit her die durstenden Tiere der Rheinebene, des Schwarzwaldes und der schwäbischen Hochebenen anlockte, so daß hier an der vergänglichen Tränke eine Fülle von Wald- und Steppentieren sich sammelten, als deren Faunengenossen wir den tierähnlichen Vormenschen von Mauer betrachten dürfen.

Geschichtete, tonige Sande bildeten sich am Boden dieses Stausees, dessen Lebensdauer aus der Größe der Unionen, die in seinen Sedimenten eingefügt sind, erschlossen werden kann. Aber ringsum fegte der Wind den trockenen Sand zu 5—8 m hohen Dünen zusammen, wie sie auch um die Altwasser afrikanischer Flüsse beobachtet werden. Sie wanderten hin und her, bis ein neuer Ruckregen auf dem Odenwald neue Fluten entfesselte, deren Tragkraft auch metergroße eckige Sandsteinquadern herabführte. So entstand das 15 m hohe Profil von Mauer, aufgebaut aus dem verwitterten Sandstein des Odenwaldes, der bald vom Wasser, bald vom Wind aufgeschichtet wurde; in dem uns die großen Buntsandsteinblöcke zeigen, aus welcher Richtung die wichtigsten Transportkräfte kamen, während die selteneren Granitgerölle auf den Kern des Odenwaldes und vereinzelte Juragerölle auf die Mitwirkung des Neckar bei der Zusammenführung des Materials hinweisen. Da die Sanddünen von 10 m Löß überlagert werden, muß Mauer auch in der Folgezeit ein Trockengebiet gewesen sein, und so erscheint uns sein wertvoller Fossilgehalt als die Wirkung vorübergehender Tränkstellen in einem meist wasserarmen Gebiet.

Der Unterkiefer von Mauer hat in den letzten Jahren zwei wichtige Ergänzungen erfahren, denn aus einer altdiluvialen Ablagerung bei Piltdown im südlichen England kam eine Fauna von pliozänem Charakter zu Tage und mit dieser fanden sich die Bruchstücke eines Menschen, die von Smith-Woodward zu einem eindrucksvollen Schädelmodell zusammengefügt werden konnten.

Es überraschte daran besonders das Fehlen des großen Orbitalwulstes, der bei allen diluvialen Neandertal-Funden so auffallend hervortritt; man hat deshalb an der Altersbestimmung von Piltdown gezweifelt und ihre Gleichaltrigkeit in Frage gestellt, um die hier zusammengefundenen Reste als Glieder verschiedener Synusien oder als verschiedenaltrig betrachten zu können — nur weil der Schädel nicht mit der An-

nahme harmoniert, daß der Neandertaler der eigentliche Ureuropäer gewesen sei.

Aber wer die Angaben Smith-Woodwards kritisch betrachtet, der kann an ihrer Richtigkeit nicht zweifeln und so fragt es sich, mit welchem Recht die heutigen Bewohner Europas als Nachkommen des so fremdartigen Neandertaler betrachtet werden?

Man hat auch gezweifelt, ob der Urmensch von Mauer-Piltdown imstande gewesen wäre, die mit ihm gefundenen Feuersteinartefakte zu schlagen. Aber neuerdings ist ein wichtiger Fund in einer zweifellos präglazialen Kiesterrasse der mittleren Unstrut bei Wangen gemacht worden, dessen geologisches Alter ebenso sicher steht, wie die künstliche Bearbeitung der Feuersteine. Ja, es läßt sich sogar beweisen, daß diese Feuersteine ursprünglich nördlich des Harzes gelegen haben und durch ein Wesen von dort bis nach Wangen, etwa 40 km weit, getragen worden sein müssen.

So schließen sich diese verstreuten Daten zu einem zwar lückenvollen, aber doch einheitlichen Bild, aus dem hervorgeht, daß ein menschenähnliches Wesen, mit glatter Europäerstirn, aber grobem Unterkiefer, in dem zwei scharfe Eckzähne die tierische Natur desselben andeuten, das zwar nicht Feuer schlagen, aber doch Steinwerkzeuge formen konnte, schon vor dem Herannahen des nordischen Eises mit einer wärmeliebenden Fauna biologisch verbunden, in Europa existierte. Von ihm können wir die paläolithische Rasse von Cro Magnon, ebenso wie den neolithischen Menschen ohne Schwierigkeit ableiten.

Eine ganz andere Synusie wandert in einer interglazialen Abschmelzperiode nach Europa ein: der Neandertaler mit seinen untrennbaren Begleitern: Elephas antiquus, Rhinoceros Mercki und anderen zweifellos afrikanischen Eindringlingen. Sie erscheinen transgredierend als Fremdlinge. Sogar ihre Wanderwege sind leicht zu verfolgen, denn zu dem altbekannten Fund eines Neandertalers in Gibraltar ist kürzlich ein weiteres Exemplar entdeckt worden, und eine zweite Wanderbrücke bildete Syrien, wo kürzlich ein Neandertaler Schädel in der Räuberhöhle am See Tiberias entdeckt wurde.

In Spanien, Frankreich, Deutschland und Osteuropa tritt der Homo primigenius fast immer interglazial und verbunden mit Elephas antiquus auf, von dem bei Taubach-Ehringsdorf im Laufe der Jahre zahlreiche jugendliche und erwachsene Exemplare, neben 100 Rhinoceros Mercki und einer reichen weiteren Fauna gefunden wurden.

Diese ganze Synusie verschwindet aber beim Herannahen des nordischen Eises während des Endabschnittes der Diluvialzeit, und als die weiten Gebiete Nordeuropas wieder eisfrei geworden waren, wurden sie rasch besiedelt von dem Neolithiker, der sich trotz der großen Frost- und Schneezeit in seiner Heimat dauernd am Leben gehalten hatte, und dessen Ahnen-

reihe bis in die präglaziale Tertiärzeit zurück verfolgt werden kann, während der Homo primigenius inmitten der Jagdtiere seiner afrikanischen Lebensgenossen transgredierend nach Europa kam, hier vorübergehend Fuß faßte, aber bei der Wiederkehr der Eisdecke aussterben mußte.

So sehen wir in der historischen Folge verschiedener Faunen den beständigen Wandel der Zusammensetzung von Synusien, die neben und nach einander kleinere oder größere Lebensräume erfüllen.

56. Faziesgebiet und Lebensraum

Seit Jahrhunderten hat der so augenfällige Gegensatz festländischer eingewurzelter Pflanzen und freibeweglicher Tiere nicht nur das Denken des Laien, sondern auch die wissenschaftliche Systematik beherrscht, und als man auch die geformten Steine der Erdrinde eingehend untersucht hatte, entstand die Lehre von den drei Naturreichen, die der fossilen Lebewelt ihren Platz unter den „toten“ Steinen anwies.

Aber wenn wir die heutige Organismenwelt in ihren Beziehungen zu ihrer Umwelt betrachten, so erscheint jener Grundsatz ebenso fehlerhaft wie irreführend, und indem wir die Lebewelt der Vorzeit als die Ahnen der rezenten Pflanzen und Tiere betrachten, gruppieren sich alle diese Lebenskreise in anderer Richtung.

Die heutige Erde zerfällt als Lebensraum in zwei große, nur örtlich durch Übergänge überbrückte Regionen, die Meere und die Festländer. Nur die letzteren sind polar orientiert und daher klimatisch gegliedert, und die dort gebildeten Böden, ebenso wie die darin wurzelnden und darauf lebenden Organismen, zeigen so enge Beziehungen zu den Klimazonen und der Lage der Erdaxe, daß man diese aus ihrer Verbreitung erschließen kann.

Wenn auch die Binnenseen und die Seichtwasserzone des Ozeans, von den Sonnenstrahlen durchleuchtet und durchwärmt, manche Erscheinungen zeigen, die vom Festland und vom Wasser gemeinsam bedingt werden und viele in wechselnder Wassertiefe gebildete Sedimente der ariden Zone eine sehr auffallende Wechsellagerung beider Reiche erkennen lassen — so müssen wir doch die Meeresböden und die auf oder über ihnen lebenden Hydropneusta grundsätzlich von den Aeropneusta trennen. Je mehr wir von der Küste nach der Hochsee oder von der flachen Untiefe gegen die tieferen Regionen vordringen, desto mehr treten die solaren Kräfte zurück und überraschend einheitliche Bedingungen beherrschen die Bildung ausgedehnter mariner Sedimente ebenso wie die Lebensweise weitverbreiteter Meerestiere.

Mehr als die Hälfte der heutigen Erdoberfläche ist vom Weltmeer bedeckt und wir können aus der großen Verbreitung zweifellos mariner Sedimente, erfüllt von den Resten mariner Fossilien, mit Sicherheit

schließen, daß seit dem Kambrium stets ähnlich große Flächen der Erdkugel vom Meer bedeckt waren. Aber ebenso häufig treten uns in der Schichtenfolge aller Länder mächtige Ablagerungen entgegen, in denen wir entweder gar keine oder nur verstreute Reste einer luftatmenden Lebewelt finden, sodaß ihre festländische Entstehung leicht bewiesen werden kann.

So vereinigen sich lithologische und biologische Tatsachen, um einen beständigen Wechsel neptunischer und festländischer Bedingungen fast in jeder größeren Schichtenfolge wieder zu erkennen.

Wir haben im zweiten Teil dieses Werkes die damit zusammenhängenden Einzelfragen besprochen und können hier uns auf die Besprechung der erdgeschichtlichen Wirkungen jenes beständigen Wechsels beschränken.

Es ist ein Erfahrungssatz der Botaniker und Zoologen, daß die meisten rezenten Organismen an bestimmten Standorten leben, deren tellurischer Untergrund und solares Klima ihre geographische Verbreitung bedingt. Von den engeren Räumen der Standorte, an denen wir eine besonders bezeichnende Pflanzen- oder Tierart regelmäßig antreffen, leiten alle Übergänge bis zu den pflanzen- und tiergeographischen Regionen, Provinzen und Reichen, in denen artenreiche Synusien vorherrschen. Jeder Biologe ist mit diesen Tatsachen vertraut und die biologische Wissenschaft der Gegenwart strebt immer mehr dahin, die Abhängigkeit der Gestalt und Artverteilung von diesen äußeren bionomischen Umständen zu klären.

Die heutigen marinen Sedimente und die festländischen Böden entsprechen aber den fossilführenden oder fossilleeren Gesteinen, und dieselben Wechselbeziehungen zwischen Standort und Lebewelt, die wir in der Gegenwart überall erkennen, beherrschten ebenso den Fossilgehalt aller aufgelagerten Trümmergesteine der Vorzeit. Eingeschlossen in die einst weichen, später meist diagenetisch verhärteten Lockermassen jeder Periode finden wir die Überreste der Pflanzen und Tiere, die einst auf diesem festländischen oder marinen Boden gelebt hatten und deren erhaltungsfähige Reste uns nur selten unverletzt, meist als Hartgebilde, Abdruck oder Steinkern überliefert sind.

Genau wie der Zoologe die biologischen Wechselbeziehungen zwischen Fauna und Umwelt zur Grundlage aller seiner weiteren Untersuchungen macht, liegt vor den Augen des biologisch denkenden Geologen ein ungemein reiches Tatsachenmaterial ausgebreitet, das man gewöhnlich als den Fossilgehalt eines Fundortes bezeichnet und das nur deshalb bisher noch nicht ausgewertet wurde, weil die meisten Paläontologen von morphologischen Problemen so erfüllt sind, daß sie darüber das für paläontologische Betrachtungen so notwendige lithologische Tatsachenmaterial vernachlässigen. Mit Eifer werden die Fossilien aus dem umhüllenden

Gestein herauspräpariert, jedes Restchen des ehemaligen Standorts wird entfernt und so bleibt ein zwar äußerlich anziehendes Einzelwesen übrig, aber seine Umwelt ist dabei restlos verschwunden.

Wenn wir den Überrest eines fossilen Lebewesens biologisch beurteilen wollen, dann dürfen wir uns nicht mit einer bloß vergleichend morphologischen Untersuchung desselben begnügen, denn wir kommen dabei niemals aus dem Zirkelschluß äußerlicher Analogieen heraus. Vielmehr müssen wir den Ort kennen, wo das betreffende Fossil gefunden wurde, also bodenständig eingebettet worden ist, und dürfen uns auch nicht begnügen, die stratigraphisch zu einer schematischen Einheit zusammengefaßten verschiedenen Gesteinsschichten einer verwickelt aufgebauten Schichtenfolge zusammen zu werfen und mit einem so vieldeutigen Wort wie „Buntsandstein“, „Keuper“ oder „Molasse“ Gesteinsarten zu vereinen, die nach ihren Bildungsumständen und als Standort bestimmter Faunen oder Floren grundverschieden sind. Jede kleine Dolomitbank in einem Lettenprofil, jede reine Kalklinse in einer Reihe toniger Wellenkalke war die Wirkung besonderer Bildungsumstände, *war ein anderer Boden und bildete einen andern Standort.*

Je genauer wir ein solches fossilführendes Profil lithologisch zerlegen, desto reicher wird unser erdgeschichtliches Bild. Wir müssen den Erhaltungszustand des Fossils im Rahmen seines umhüllenden Gesteins untersuchen, die Häufigkeit oder Seltenheit der verschiedenen Reste muß scharf geprüft, die Bruchstücke nicht nur ergänzt, sondern auch auf die Ursachen ihrer Zertrümmerung untersucht werden. Kleine Jugendformen, die zwischen erwachsenen Personen liegen, Varietäten des Alters und der Rasse, Wiege und Grab der Fauna muß Gegenstand *sorgfältigster Arbeit im Gelände* werden.

Dann gilt es, die umhüllenden Gesteine nach Mächtigkeit, Nebengesteinen, Grenzflächen und Einschaltung in andere Fazies zu untersuchen. Denn auch die *Organismen der Vorzeit haben eine Umwelt* gehabt, die ihre Lebensweise, die Ausbildung ihrer Organe, ihre Varietäten, ihr Wachstum und ihren Tod bestimmten. Diese fossile Umwelt muß ebenso gründlich studiert werden, wie die Gestalt der darin einst lebenden Wesen.

Jede Art lebte allein oder mit Lebensgenossen vereint, die ihr zur Nahrung oder denen sie zur Beute diente; andere Formen füllten die Lücken des gemeinsamen Lebensraumes aus und wieder andere kamen als passiv-planktonische Trift oder durch Wind und Wasserströmungen aus einem nahen oder fernen Lebensraum herbei und wurden hier von demselben Grab umschlossen wie die bodenständige Lebewelt.

So wird die Frage nach der geologischen Umwelt und die lithologische Prüfung des umhüllenden Gesteins das brennende Problem jeder Arbeit, die Anspruch darauf macht, das Leben der Vorzeit „paläobiologisch“ zu erforschen.

Indem wir hier nur die allgemeinen Ergebnisse solcher Untersuchungen ins Auge fassen, lassen sich etwa folgende Sätze aussprechen:

Die früher von uns festgestellte Gesamtmächtigkeit der vom Unterkambrium bis zur Gegenwart gebildeten 25000 m fossilführenden Schichtgesteine zerfällt in zahllose sich überlagernde, lithologisch verschiedene Gesteine von überaus wechselnder Mächtigkeit. Wenn wir auch bedenken müssen, daß die Zeit, welche nötig war, um 20 m Braunkohle, Kalk, Ton, Sandstein oder vulkanische Tuffschichten zu bilden, ganz verschieden bemessen werden muß, so gibt uns doch, bei der beständigen Wiederkehr ähnlicher Gesteine, die Gesamtmächtigkeit der Bildungen einer bestimmten Formation einen ungefähren Maßstab für die ihr entsprechende Bildungszeit.

Alle diese Gesteine liegen mit scharfen Grenzen übereinander und auch seitlich läßt sich nur selten ein allmählicher Faziesübergang von einer fossilen Bodenart zur andern verfolgen. Vielmehr ist eine gegenseitige Verzahnung, oder geologisch gesprochen, eine Wechsellagerung verschiedener Gesteine, der normale Ausdruck für lithologische Übergänge. Die Ursache dieser Erscheinung ist leicht zu verstehen. Denn die Grenzen jedes Bildungsraumes eines Gesteins schwanken unaufhörlich während seiner Bildungszeit. Daher verbreitert sich der Bildungsraum ebenso oft, wie er sich wieder einengt. Infolgedessen beobachten wir nur selten ein seitliches allmähliches Verschwinden der einen Fazies, oder nach dem Hangenden zu, einen allmählichen Ersatz durch eine andere Gesteinsart.

Nur selten übersehen wir in einem größeren Aufschluß alle diese auskeilenden Gesteinszungen. Meist folgt im wiederholten Wechsel das eine Gestein auf das andere und da diese verschiedenen Gesteine einst verschiedenartige Lockerböden waren, die verschiedene biologische Standorte bildeten, sehen wir keineswegs die Faunen und Floren in allmählichem Übergang sich zeitlich verwandeln, sondern auch diese wechsellagern so lange, bis die eine Fazies verschwindet und die neue Bildungsperiode allgemein einsetzt.

Beim Sammeln in geologisch-stratigraphischen Grenzgebieten muß diese Erscheinung sorgfältig beachtet werden. Viele „Mischfloren“ und „Mischfaunen“ beruhen auf mangelhafter Sonderung des eigentlich in der Natur stets in Wechsellagerung auftretenden Fossilgehaltes verschiedener Gesteine.

Neben dem Wechsel der Fazies, den wir in allen Perioden der Erdgeschichte antreffen, sehen wir aber, nicht minder bezeichnend, das Vorherrschen gewisser Gesteinsarten in bestimmten Perioden und damit hängt ihre paläontologische Eigenart zusammen. Fossilien, die vorwiegend auf Kalksand gelebt haben und bei ihrem Absterben solchen erzeugten, sind natürlich nur in solchen Gebieten zu finden, in denen Kalksteine herrschen, während sandbewohnende Mollusken vorwiegend in Sandsteinen

eingeschlossen sind. Daher begann die geologische Arbeit in allen Ländern zunächst damit, daß man die Eigenart bestimmter Formationen in bestimmten Gesteinen und den an solche Standorte angepaßten Faunen sah und jene Zeiträume danach benannte. Noch haben sich viele solche Namen, wie Buntsandstein, Muschelkalk, weißer Jura oder Kreide erhalten, obwohl die vergleichende Untersuchung der Nachbargebiete zeigte, daß dort andere Hauptgesteine vorherrschten, in denen wieder eine andere Standortsfauna überwog. Viele paläobiologische Schilderungen des Entwicklungsganges des Lebens halten noch heute an solchen veralteten Übersichten fest und tragen einer solchen biologischen Auffassung nicht genügend Rechnung.

Wenn wir die durch bestimmte Fazies bezeichneten Perioden der Erdgeschichte kurz überblicken, so tritt uns zunächst in der Urzeit die auffallende Tatsache entgegen, daß die festländischen Gesteine fossilleer und nur die unter dauernder Wasserbedeckung gebildeten Sedimente versteinerungsreich sind Selbst hier können wir die artenarmen Faunen abnorm gesalzener Becken, wie sie im Kambrium von Böhmen und den Ostseeländern vorwiegen, von den viel formenreicheren Ablagerungen unterscheiden, die in Sardinien, Australien und Nordamerika erst später bekannt geworden sind. Viele Urteile über die Kalkarmut oder die Lebensweise kambrischer Faunen beruhen auf diesem Gegensatz.

Eine besondere Eigenart wird den Ablagerungen des Silurmeeres dadurch aufgeprägt, daß in häufiger Wechsellagerung mit artenreichen, sandigen oder kalkigen Gesteinen dunkle Graptolithenschiefer immer wieder erscheinen, die wegen der planktonischen Lebensweise dieser seltsamen kolonienbildenden Tiere mit Ausschluß anderer Formenkreise, aber selbst ziemlich artenreich und oft weltweit verbreitet, die genaueste Gliederung der mit ihnen wechsellagernden anderen Felsarten gestatten. Das Verschwinden der Graptolithen am Schluß der Silurzeit ist nach einer so langen, vielgestaltigen Entwicklungsreihe ebenso unerklärt, wie überraschend.

In der Erforschung der Devonzeit hat der Gegensatz zweier Fazies und zweier damit zusammenhängender grundverschiedener Synusien große Schwierigkeiten hervorgerufen. Denn lange Zeit standen die alten roten Sandsteine nördlich des Bristolkanals, die eine so eigenartige Fauna von Ganoiden und Urfischen enthalten, unvermittelt neben den in Devonshire verbreiteten und von hier über Belgien nach dem Rheinland, dem Harz und Böhmen sich ausdehnenden marinen Devonschiefern, Sandsteinen und Kalken. Selbst heute, nachdem die marine, wie die festländische Devonfauna so genau erforscht und über weite Länder verfolgt ist, bleibt noch immer der durch verschiedene „Böden“ bedingte Gegensatz in dieser gleichzeitig lebenden Tierwelt bestehen.

Erst spät erkannte man in den alten Wüsten des Nordens die Heimat der ältesten luftatmenden Pflanzen und Tiere, und erst allmählich wird die Flachseenatur der marinen Devonschichten deutlich.

Sowohl in Obersilur-Riffen von Gotland, wie in den Kalklinsen, die den devonischen Schiefern eingelagert sind, im Massenkalk des Karbon, den permischen Zechsteinriffen, dem alpinen Ammonitenkalk, dem Dachsteinkalk, dem Tithon und ähnlichen Kalkriffen der Kreidezeit hat die stratigraphische Gliederung mit den größten Schwierigkeiten zu kämpfen. Denn die isopische Entwicklung einer in ihrer ganzen Masse organisch entstandenen Ablagerung, die sich riffartig über den von schlammigen Sedimenten bedeckten, umgebenden Meeresboden erhebt, hat durch die ganz lokale Erhaltung reicher Fundorte, die scheinbar regellos zwischen dichten, fossilleeren Kalkschrofen auftreten, einer horizontalen Einteilung in chronologisch verschiedene Stufen natürliche Hindernisse bereitet.

Eine besondere Gruppe von Gesteinen bildet sich unabhängig von den faziellen Umständen des Untergrundes; das sind einerseits die äolischen *Staubmassen*, die auf dem Festland ebenso wie in großen Wasserbecken niederfallen, andererseits die *pelagischen Sedimente* großer Meere.

Grundsätzlich verschieden von den, unter dem Einfluß des fließenden Wassers abgetragenen, verfrachteten und wiederabgelagerten Trümmermassen ist der feine *Staub*, der, durch äolische Abtragung entstehend, lange Zeit in der Atmosphäre verbleibt, um dann irgendwo, fern von seiner Bildungsstätte wieder niederzufallen. Auf trockenem Lande bleibt er nur unter ganz besonders günstigen Umständen längere Zeit liegen. Selbst die diluviale Lößdecke ist überall verwaschen und in einzelne Lößflächen zerlegt; und wie diese heute noch ununterbrochen über das Gelände weiterfließen und als ungeschichteter Löß im Laufe eines Jahrtausends wieder, 8 m mächtig, abgesetzt werden, haben neuere Untersuchungen über den Löß von Hörde gezeigt.

Aber dieselbe Beweglichkeit, die unsere heutigen Lößmassen zeigen, besaßen sie schon bei ihrer Bildung. Man hat oft mit Verwunderung auf die Tatsache hingewiesen, daß der Löß fast niemals auf die von Geschiebelehm bedeckten Flächen übergreift. Aber wenn man bedenkt, daß diese Gebiete seinerzeit von beständig vorwärtsschreitenden Eisdecken eingenommen waren, die an ihrem Stirnrand abschmolzen, so ist es leicht verständlich, daß alle auf die Fläche des diluvialen Binneneises fallenden Staubmengen mit dem Eis bis zu dessen Südgrenze wanderten. Wir sehen diese glazialen Lößmassen in die *Bändertone* der Stauseen verwandelt, die gerade hier gebildet wurden.

Ganz andere, aber ähnliche Schicksale haben alle Staubmengen, die über dem Meere niederfallen. Sie werden als „Meeresschlamm" abgelagert und bilden um alle Küsten den durch die absterbenden Organismen der Flachsee blau oder grün verfärbten Kontinentalschlamm des Meeresgrundes.

So müssen wir auch die meisten marinen Tongesteine, Schiefertone und Tonschiefer als äolisch gebildete, aber am Meeresboden abgelagerte Verwitterungsprodukte des Festlandes betrachten. Mit ihnen aber sinken überall die Hartgebilde des Plankton zu Boden und mischen sich in wechselndem Verhältnis mit demselben. So bilden sich alle jene Übergangsgesteine von reinen fossilleeren Letten bis zu den vorwiegend aus planktonischen Diatomeen, Radiolarien, Foraminiferen oder Stylolithen, Fusulinen, Alveolinen und Nummuliten bestehenden Ablagerungen.

Oft wurde auch eine bodenständige marine Kalkablagerung von einem vorübergehenden Staubnebel überstreut, der ihre Oberkante mit einer so dichtgeschlossenen Haut bedeckt, daß dieser tonige Besteg eine Ablösungsfläche in den sonst einheitlich wachsenden Kalken bildet. Die Bankung des Dachsteinkalkes und vieler aus ähnlichen dichten organischen Bänken aufgebauter geschichteter Kalksteine hat darin ihre Ursache. Und wenn die Aufschüttung solcher äolischer Staubmengen auf vorher gebildeten Kalken längere Zeit andauert, dann verschwindet die Fauna der liegenden Kalkschichten vollständig und wir sehen über dem Schlerndolomit in dem roten Letten der Raibler Schichten die völlig veränderte Tierwelt. Erst als die Zufuhr roten Staubes zu Ende kam und wieder kalkbildende Tiere und Kalkalgen vorherrschten, verschwand die transgredierend eingewanderte Fauna und eine neue, den älteren Kalkfossilien ähnliche Tierwelt verbreitete sich in dem wieder eroberten Lebensraum.

So bestimmt und regelt das Sediment und die dasselbe bildenden lithogenetischen Umstände das Verschwinden und Wiedererscheinen von artenreichen oder artenarmen Synusien.

Wir kennen aber eine überaus seltsame Gesteinsfazies, die selbst zwar lebensfeindlich und daher fossilleer ist, aber doch die tiefgreifendsten Wirkungen auf alle gleichzeitig lebenden Organismen des Festlandes wie des Meeres ausübt. Das sind die durch schmelzendes Eis gebildeten glazialen Blocklehme. Sie treten innerhalb des Polarkreises auf, wenn derselbe dauernd von großen Festländern eingenommen wird. Sie verschwinden restlos, wenn eine Transgression des Meeres solche geschlossenen Landflächen in Inseln auflöst und zuletzt versenkt.

Wir sehen sie auf allen topographisch über weite Niederungen emporragenden Gebirgen und Vulkanbergen entstehen. Aber hier verschwinden sie durch ihre eigene geologische Tätigkeit. Denn bei der glazialen Abtragung solcher von Firnfeldern und Gletschern bedeckten Hochgebiete wird allmählich deren Gipfelflur so erniedrigt, daß ihre schneebildende Kraft vermindert wird und die Gletscher verschwinden.

Ein kurzer Wassertransport reicht hin, um gekritzte Geschiebe in runde Gerölle zu verwandeln. Daher sind selbst an den Abhängen der varistischen Gebirge der Karbonzeit keine Moränen erhalten, und auch

die Gletscher der Alpen werden automatisch verschwinden, je mehr die allgemeine Denudation diese Gebirge erniedrigt.

Ganz anders muß man die in gewissen Perioden auftretenden, weitverbreiteten glazialen Blocklehme und Tillite werten, die hügelige Flächen überschreitend, deren gesamte Verwitterungsdecke abheben, weithin verfrachten und regional als ungeschichtete Masse wieder ablagern.

Bei ihrer Bildung handelt es sich nicht um lokale tellurische gletscherbildende Umstände, sondern um allgemeine Klimaänderungen, deren Ursache nur in der Strahlung der Sonne liegen kann. Wir haben schon S. 461 diese Frage besprochen und es für wahrscheinlich gehalten, daß eine Erhöhung der Sonnenstrahlung die Ursache für stärkere Verdunstung auf den großen tropischen Meeresflächen und mithin für langandauernde Vermehrung aller irdischen Niederschläge sein könne. Jedenfalls läßt uns die Diluvialzeit erkennen, daß eine Vereisung der polaren und alpinen Schneemassen gleichzeitig mit einer Pluvialzeit in den Subtropen und einer Lateritzeit in den wärmeren Klimagebieten erfolgte. Erscheinungen, die, ebenso wie die wärmeliebende interglaziale Flora, für eine Zunahme der mittleren Jahrestemperatur sprechen.

Ein solches antinomes, an Gegensätzen reiches Klima ist schon in früheren Perioden vor der Diluvialzeit zu beobachten und glaziale Blocklehme von ungeheurer Verbreitung treten zusammen, mit tiefgründigen lateritischen Verwitterungsvorgängen in der Oberkreide, der Karbonzeit und im Algonkium auf.

In einem früheren Abschnitt, S. 455, hatten wir darauf hingewiesen, daß die lateritischen Verwitterungsdecken, die an der Wende von Kreide- und Tertiärzeit in Europa so weit verbreitet sind und denen ähnliche oberkretazische Laterite in Afrika und Asien entsprechen, merkwürdigerweise nicht von gleichzeitigen Moränen ergänzt wurden, wie sie mit den algonkischen, permischen und diluvialen Roterden verbunden sind. Wir hatten vermutet, daß ihr Fehlen vielleicht damit zusammengehangen habe, daß damals die Polargebiete vom Ozean transgrediert gewesen seien, und daß daher keine Firnfelder darauf entstehen konnten.

Inzwischen sind aber oberkretazisch-untertertiäre Moränen durch W. G. Woolnough und David in Mittelaustralien entdeckt worden, so daß auch diese Lücke in unserer Beweisführung geschlossen erscheint.

Wir müssen aus den algonkischen, permischen und oberkretazischen Moränendecken schließen, daß damals ähnliche Umstände wie in der Diluvialzeit herrschten, und daß in diesen Zeiten die Bildung der Gesteine und ihrer organischen Einschlüsse durch die Entstehung großer Schneegebiete und Binneneismassen sehr tiefgreifend beeinflußt wurde:

Die gesamte Lebewelt des Festlandes wurde in der intensivsten Weise ausgelesen, und alle an eine enge Klima-Amplitude gewöhnten Pflanzen und Tiere mußten aussterben, wenn sie nicht die Möglichkeit

zu weiten Wanderungen fanden. Diese aber setzten Landbrücken von einem Klimagürtel zu einem ähnlichen benachbarten Klimagebiet voraus.

Eine Interglazialzeit, ebenso wie das postglaziale Abschmelzen mußte gegenteilige biologische Wirkungen haben, indem sie ungeheure, mit fruchtbaren Lockermassen und sumpfigen Niederungen bedeckte Flächen für eine Neubesiedelung freigaben; ausgedehnte Wanderungen waren die Folge; Neubildung von Standorten, Rassen und Arten, und eine völlige Umgruppierung der Synusien mußte sich notwendig daraus ergeben.

Ganz anders mußten sich die Wirkungen einer gletscherbildenden antinomen Klimaperiode in der Wasserwelt des Ozeans auswirken. Denn alle der Küste sich nähernden Schnee- und Eisdecken mußten eine Abkühlung des Meeres und intensive Sinkströme von der Küste nach den Tiefen der Ozeanbecken veranlassen. Der große Reichtum kälterer Meere an planktonischer Urnahrung und eine dadurch bedingte Vermehrung des Sauerstoffgehaltes tieferer Wasserbecken, mußte allmählich die Lebensintensität der gesamten Organismenwelt des Meeres steigern, dem Meerplankton neue Siedelungsflächen eröffnen und eine stärkere Umbildung der Synusien veranlassen. Der Kampf ums Dasein und die Bildung neuer Formenkreise wurden belebt und so mußte eine scheinbar lebensstörende Schnee- und Eiszeit umgestaltend, ja sogar schöpferisch auf alte stagnierende Formenkreise einwirken.

Indem wir so die lithologischen Tatsachen als Ausdruck biologischer Lebensbedingungen deuten, gewinnen wir auch neue Gesichtspunkte für die Beurteilung der Zusammensetzung der fossilen Synusien innerhalb einer größeren Schichtenfolge. Denn wenn der Standort die Lebewelt bestimmt, wenn mit einer neuen Gesteinsfazies stets ein Formenwechsel in dem Lebensraum stattfindet, so kommen wir zu einer anderen Deutung der historisch aufeinanderfolgenden Formenkreise. Nicht die Einzelform, nicht die leitende Art wird jetzt zum Mittelpunkt der phyletischen Analyse, sondern die aus wechselnden Elementen zusammengesetzte Synusie. Sie ist die biologische Einheit, der jede Einzelform eingeordnet und untergeordnet werden muß, sie bestimmt den Gang des Lebens von der unteren Grenze der Fossilführung bis zur Gegenwart.

Literatur

W. G. Woolnough und E. David, On cretaceous glaciation in Central Australia. Q. J. G. Soc. London 1926 S. 332.

57. Der Formenwechsel und die Endformen

Jeder natürliche Vorgang in der unbelebten oder belebten Natur strebt durch beständig sich auseinander ableitende und aufeinander folgende Entwicklungsvorgänge nach einem stabilen Endzustand, der für eine längere Zeit andauert. Diese Endformen des natürlichen Ge-

schehens haben im allgemeinen größere geologische Bedeutung als jene Übergangsformen, weil man sie nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit viel öfter erhalten findet.

So ist die größte Ausdehnung einer Eisdecke an ihrer Endmoräne leichter erkennbar als die wechselnden Phasen des vorschreitenden oder des zurückweichenden Eises.

Die in der Erdrinde so allgemein verbreitete, beständig wachsende Seitenspannung ist selten zu beobachten, aber jede durch deren Auslösung entstandene Verwerfung hat ewige Dauer.

Der Wind bewegt zu Sand zerfallene Gesteine in großen Sandwolken immer weiter, bis sie in einen See oder in das Meer hineinfallen und unter dem Einfluß des Wasserspiegels festgehalten werden. Aber wenn Gegenwinde ein sandreiches Wüstenland beherrschen, wird der wandernde Sand darin aufgespeichert und das entstehende Sandmeer kann zu mächtigen Sandsteinmassen verkittet werden, wenn sein Untergrund langsam sinkt und dadurch die aufgehäuften Sandmassen verfestigt werden.

Dasselbe beobachten wir in der organischen Natur. Denn wir kennen viel mehr ausgewachsene fossile Individuen als Jugendformen derselben Arten, weil solche nur unter besonderen geologischen Umständen frühzeitig eingebettet werden konnten.

Man findet aber aus demselben Grund viel mehr konstante Arten als variierende Artenreihen. Alle geologisch neu auftretenden Arten erscheinen als bodenfremde Einwanderer, die eine längere Wanderung von ihrer Heimat durchgemacht haben müssen.

Die meisten Schalen der von Kalkpanzern geschützten Meerestiere werden nach deren Tode durch natürliche Vorgänge zerbrochen, zerrieben und zusammengetrieben. Daher sind die großen organischen Kalkmassen meist versteinerungsleer, obwohl ihre ganze Mächtigkeit aus Versteinerungen besteht. Dasselbe gilt für die aus halbverwester Pflanzensubstanz entstandenen Kohlenlager.

Dem Biologen ergibt sich aber für diese beiden wichtigsten organischen Gesteine noch eine andere Gedankenreihe: denn alles Leben ist vom Sonnenlicht bedingt und sowohl die Flora der Sümpfe wie die Korallen der Flachsee gedeihen nur nahe dem Wasserspiegel. Ihrem Weiterwachstum würde eine rasche Grenze gesetzt sein, wenn nicht der Untergrund, auf dem sie gedeihen, sänke. So wird die Endform eines dünnen Moorstreifens als ein 100 m mächtiges Braunkohlenlager, oder einer schmalen Kalkschicht als 1000 m mächtige Kalkmasse durch das Zusammenwirken grundverschiedener Vorgänge ermöglicht; dann aber bleiben solche Endformen Millionen von Jahre erhalten.

Die aufgezählten Beispiele mögen erläutern, daß nicht jede ontologische Erscheinung und nicht jede einzelne Kausalreihe des natürlichen Geschehens zur Erklärung paläontologischer Wirkungen herangezogen

werden darf, sondern daß das polydyname Wechselspiel der heutigen Vorgänge mit Rücksicht darauf eingehend geprüft werden muß, welche Vorgänge und welches Zusammenspiel der Kräfte bleibende Endformen erzeugen.

Darin liegt auch vielleicht der wichtigste Unterschied der geologischen gegenüber einer geographischen Betrachtungsweise, welche alle Erscheinungen des natürlichen Geschehens, unbekümmert um ihre bleibenden Wirkungen, untersucht, während der Geologe bestrebt sein muß, die vergänglichen Spuren von den bleibenden Endformen zu sondern und diesen größere Aufmerksamkeit zu schenken, als den flüchtigen Gebilden lang andauernder Mutationen.

In der unübersehbaren Formenfülle der rezenten Organismen lassen sich wechselnde und endgiltige Gestalten leicht unterscheiden. Sie treten mehr oder weniger deutlich in der ontogenetischen Entwicklung jeder Person auf, begleiten seine Lebensschicksale, zeigen bald einen kurzfristigen Wechsel der Gestaltung (Metamorphose, Generationswechsel), bald eine langsame (Wachstum) Veränderlichkeit und enden mit einer Endform, deren Größe und Artbildung wir als erwachsen bezeichnen.

Diese Formenveränderungen sehen wir nicht allein in der Größe und äußeren Gestalt der Organe, sondern ebenso in den die Organe zusammensetzenden Geweben und den inneren Eigenschaften derselben.

Das Ei, die Raupe, die Puppe, der Schmetterling sind ebenso kontinuierlich zusammenhängende Stadien ein und derselben Person, wie das Ei, die Pluteuslarve und der erwachsene Seeigel. Leicht lassen sich die Wachstumsformen der festländischen Organismen als Übergangsformen der Größenentwicklung erkennen, schwerer ist es, die Metamorphose eines marinen Tieres in eine ununterbrochene Formenreihe einzuordnen, aber auch hier hat die Zoologie die meisten Rätsel solcher Zusammenhänge aufgeklärt. In jahrzehntelang fortgesetzten Studien hat LOBIANCO die oft so absonderlich gestalteten Jugendformen der Krebse und Fische zu geschlossenen Übergangsreihen verknüpft und den oft überraschenden Formenunterschied der jugendlichen und erwachsenen Tiere aufgeklärt.

Hand in Hand mit diesen morphologischen Umgestaltungen gehen solche der physiologischen Funktion und der Lebensweise; in der Regel ist sogar ein ausgesprochener Ortswechsel damit verbunden. Die Wege mancher Fische vom Wohnplatz zum Brutplatz und zum Futterplatz, das Ziehen der meisten Vögel und viele ähnliche Erscheinungen bei niederen Tieren sind allgemein bekannt.

So wird der Formenwechsel vom Funktionswechsel begleitet, und es erhebt sich die große Frage, welche innern kausalen Beziehungen zwischen beiden Vorgängen existieren. Der Paläontologe, dessen Material nur aus toten Endformen besteht, kann die Funktion der Organe in der Regel nur nach Analogie rezenter Verwandten beurteilen und wird daher diese

wichtigen Probleme nicht untersuchen können. Aber umsomehr muß er sich bei jedem Fossil die Frage vorlegen, ob er eine Übergangsform oder eine Endform vor sich hat.

Schon die individuelle Größe der Personen an dem einen oder andern Fundort fordert zu einer Prüfung auf, welche Dimensionen als „normal", welche als jugendlich zu betrachten sind. Die meisten paläontologischen Abhandlungen enthalten zahlreiche Daten hierüber.

Viel schwieriger ist es an einer völlig ausgestorbenen Gruppe die Frage eines möglichen Generationswechsels zu untersuchen. Aber in einigen Fällen ist es gelungen, auch darüber Klarheit zu schaffen: Die Entwicklung der Graptolithiden, vom Ganongium durch die Sikula bis zur schwebenden Kolonie, die Umwandlung mancher Trilobiten vom Ei zur Larve bis zum reichgegliederten Individuum, die Veränderung der jugendlichen fossilen Conularia zur planktonischen Endform haben uns gerade aus den ältesten Perioden der Erdgeschichte überaus interessante Formenreihen geliefert. Viele Einzelreihen der Altzeit harren aber noch einer entsprechenden Analyse.

Diese Arbeit wird dem Paläontologen dadurch sehr erleichtert, daß ihm in der Regel auch die Umwelt, in der seine Fossilien einst gelebt haben und gewachsen sind, als das umhüllende Gestein überliefert wurden. Seine Eigenschaften zu prüfen und deren Geschichte im fortlaufenden Profil zu untersuchen, bietet ihm reizvolle, bisher noch wenig begangene Wege erfolgversprechender Forschung.

Die große Frage, welche seit Lamark und Darwin alle Biologen beschäftigt, ist aber diejenige, ob auch die Arten ähnliche Endformen kontinuierlicher oder sprunghafter Veränderungen sind, wie die im individuellen Leben durch langsame oder kurzfristige Umbildung erreichte Gestalt des erwachsenen Tieres.

Wenn wir vom paläontologischen Standpunkt an die Beantwortung dieser Frage herantreten, so müssen wir uns mit einer Anzahl einfacher Tatsachen vertraut machen, die man als das Ergebnis langer geologischer Erfahrungsreihen bezeichnen darf und deren Tragweite um so wichtiger ist, weil das paläontologische Material, in einen gemessenen Schichtenstoß von 25000 m eingeordnet, nicht nur das relative Altersverhältnis der aufeinanderfolgenden Arten und Synusien, sondern auch die Größe des inzwischen abgelaufenen Zeitraums wenn nicht bestimmen, so doch schätzen läßt.

Wir sehen in dem Fossilgehalt dieses gewaltigen Schichtenstoßes folgende Erscheinungen mit deutlicher Sicherheit:

1. Niemals erkennt man Spuren eines diffusen, amorphen Wachstums organischen Lebens, vielmehr erscheint dasselbe stets in Gestalt gesonderter Personen, mit deutlich unterscheidbaren Organen oder wenigstens den Abdrücken solcher in der Skulptur der Hartgebilde.

Alles was man früher über einen plasmodischen, nicht organisierten Urzustand des Lebens ausgesprochen hat, und was in der bekannten Bathybius-Hypothese von W. Thomson ihren Ausdruck fand, gilt nicht für die unermeßlich langen Zeiträume der geologisch erforschbaren Lebewelt.

Eine scheinbare Ausnahme bilden die kolonien- und stockbildenden Meerestiere; die Spongien, Korallen, Aszidien und Siphonophoren. und die nur fossil bekannten Protopharetren und Stromarien; aber bei ihnen ist die amorphe Gestalt durch die Mechanik des Stockaufbaues bedingt.

2. Alle Personen lassen Zeichen eines allmählichen Größenwachstums erkennen und manche genauer bekannte Entwicklungsreihe völlig ausgestorbener Formenkreise zeigt sogar innerhalb der Entwicklung eine scharfe Umbildungsperiode, die wir als Metamorphose deuten und mit einem grundsätzlichen Wandel in der Lebensweise verknüpfen müssen.

3. Das Größenwachstum ist begrenzt und läßt deutlich die Wirkung der organischen Selbstregulierung erkennen. Genau wie in der Gegenwart gab es immer große und kleine Formenkreise. Manche Fundorte zeigen ein Vorherrschen kleiner Arten, die an anderen Fundorten größer gewachsen sind, so daß man in solchen Fällen nicht von „Zwergen" sondern von einem vorzeitigen Absterben jugendlicher Formen sprechen muß. Nur selten tritt wirklicher „Riesenwuchs" auf, wie bei den tausendjährigen Mammutbäumen Kaliforniens oder einzelnen miozänen Wurzelstöcken in der Braunkohle der Niederlausitz, wo Th. Teumer an den Stämmen bis 5000 Jahresringe zählen konnte.

4. Die gesamte Lebewelt der Vorzeit läßt aber nicht nur einzelne Personen von gleicher harmonischer Gestalt unterscheiden, sondern ebenso deutlich sind stets die Arten unterschieden.

Die Bedeutung dieser fundamentalen Tatsache wird umso größer. wenn man sie mit den theoretischen Forderungen Darwins vergleicht, der zwar für die Lebewelt der Gegenwart die gesonderten natürlichen Arten nicht bezweifeln konnte, aber ähnlich wie bei den domestizierten Spezies unserer Kulturwelt, auch bei den Formenkreisen der Vorzeit das Vorkommen scharfer Artgrenzen ablehnte.

Man könnte nun — und das hat man oft getan — annehmen, daß die Paläontologen, vom Standpunkt der Konstanz der Art ausgehend, schon beim Aufsammeln der Fossilien eine künstliche Auslese vornähmen, so daß die „schlechten Arten", als unerwünschte Zugabe zu der fossilen Fauna betrachtet, gar nicht in die Museen kämen. Die ungewollte Unvollständigkeit der geologischen Urkunde wurde von E. Haeckel als so dominierend angesehen, daß er damit alle paläontologischen Einwürfe gegen Darwins Lehre entkräften zu können glaubte.

Aber wer im Kambrium von Skrey, im Untersilur des Kinnekullen, im Obersilur von Gotland, im Devon der Eifel oder in irgend einer der folgenden Schichtenreihen einmal eine wirklich fossilreiche Bank ausgebeutet und über meilenweite Strecken mit gleichbleibender Mächtigkeit und gleicher Formenfülle verfolgt hat, der kann diese Einschränkung nicht gelten lassen.

Wir kennen aus allen Erdteilen und aus allen geologischen Perioden neben selteneren, nur durch besonders günstige Umstände erhaltenen Einzelfunden so ungemein artenreiche Ablagerungen, wo hunderttausende von Individuen meterhohe Ablagerungen bilden, daß man an solchen Fundplätzen über den Reichtum des fossilen Lebens staunen muß. Hier sieht man, daß gute Arten die Regel bilden.

Die Bestimmung der fossilen Spezies geschieht überall in allen Kontinenten und in den Ablagerungen aller Perioden mit derselben Akribie und Sicherheit wie die systematische Diagnose einer rezenten Tier- oder Pflanzenart. Ein Blick in irgendeine paläontologische oder stratigraphische Monographie läßt sofort erkennen, mit welcher Sorgfalt Synonymen ausgeglichen, Originalexemplare berücksichtigt und Diagnosen gefeilt werden. Daher ist die paläontologische Systematik ebenso beweiskräftig, wie die botanische oder zoologische.

Genau wie in der Gegenwart hat es auch in der Vorzeit immer wieder zwischen der Mehrzahl guter Arten auch einzelne variierende Formenkreise gegeben, aber ihre Varietäten liegen keineswegs zeitlich geordnet übereinander, sondern regellos durcheinander. Die wenigen Beispiele, die seit 60 Jahren als Beweise für chronologisch geordnete Varietäten immer wieder aufgezählt werden, haben wir schon S. 313—315 kritisch betrachtet und als nicht beweiskräftig gekennzeichnet.

Die Sicherheit der Spezies ist nun keineswegs nur eine rein morphologische Frage, sondern sie spielt in der praktischen Geologie deshalb eine so große Rolle, weil überall in der Welt die Aufeinanderfolge der Gesteine mit Hilfe von Artdiagnosen bestimmt wird. Die gesamte Stratigraphie und alle mit derselben zusammenhängenden bergbaulich-technischen Unternehmungen sind auf der genauesten Artbestimmung fossiler Organismen aufgebaut. Würden, wie es Darwin forderte und annahm, die Arten der Vorzeit beständig variieren, so wäre der wichtigste Teil der geologischen Wissenschaft, die stratigraphische Systematik der die Erdrinde aufbauenden Schichten nicht möglich gewesen.

5. Zu den bemerkenswerten Eigentümlichkeiten des Lebens gehört aber auch die fast unbegrenzte Gleichförmigkeit des chemischen Stoffwechsels innerhalb der systematisch verwandten Gruppen.

Wenn wir bedenken, daß die Hartgebilde nichts anderes als geformte Sekrete des intrazellulären Stoffwechsels sind, so ist es geradezu auffallend, wie unveränderlich die chemische und histologische Beschaffenheit der Hartgebilde vererbt wird. Die noch heute in zwei scharf gesonderte Gruppen zerfallenden Brachiopoden zeigen schon im Kambrium sowohl die aus Kalkkarbonat bestehenden, faserig gebauten Schalen der Artikulaten, wie die aus Chitinlagen mit eingeschalteten Kalkphosphatschichten bestehenden Schalen der Inartikulata, die seither ungemein personenreich, oft gesteinsbildend, ganze Schichten erfüllen.

Schon im Kambrium treten die hexactinelliden Spongien auf, deren Kreuznadeln aus Kieselsäure bestehen und die trotz der größten Mannigfaltigkeit der Formen bis zur Gegenwart leben. Eine kambrische Protospongia, eine silurische Astraeospongia, ein jurassisches Tremadictyum, eine Coeloptychium der Kreide oder eine rezente Euplectella sind habituell grundverschiedene Typen, aber die kieseligen Sechsstrahler sind immer in derselben Form und chemisch aus demselben Material ausgeschieden worden.

Gleichzeitig mit ihnen lebten die kieseligen Lithistiden in allen Formationen und auch sie zeigen trotz aller Abweichung der Körperform und Größen sowie des Kanalsystems immer dieselben Kieselnadeln, die von kleinen Zellen ausgeschieden werden, deren Stoffwechsel von dem Wechsel der äußeren Lebensbedingungen nie beeinflußt wurde.

Das kleinste Bruchstück eines Echinodermenskeletts läßt sich an seiner feinmaschigen Struktur im Mikroskop erkennen, und die bei allen jüngeren Echinodermenresten so auffallende Umwandlung des organischen Kalkes in gesonderte Kalzitkristalle mit spätigen Spaltflächen, zeigen die Cystoideen des Untersilur ebenso deutlich, wie die Trochitenkalke der Trias oder die Seeigel der Tertiärzeit.

6. Wir müssen in diesem Zusammenhang auch darauf hinweisen, wie viele ökologische Tatsachen, die doch ebenfalls mit dem organischen Stoffwechsel der Organismen verknüpft sind, immer in derselben Weise auftreten, wie wir litorale und bathyale, hochmarine, limnische und brakische Formen an der Zusammensetzung ihrer Hartgebilde leicht erkennen können.

Überall treten uns auch die großen unabänderlichen Vererbungsgesetze formbestimmend entgegen:

Alle Brachiopoden hatten eine ventrale und dorsale, harmonisch verschiedene Schale, alle Muscheln eine rechte und eine linke Klappe. Der unveränderliche Aufbau der letzteren aus einer inneren Porzellan- und einer äußeren Prismenschicht ist ein Zeichen dafür, daß stets die Mantelfläche andere Sekrete liefert, wie der Mantelrand.

Alle Schneckenschalen sind rechts gewunden; nur wenige Gattungen sind mit allen ihren Arten links gewunden. Dagegen sind die in der Regel symmetrisch in einer Ebene aufgewickelten Ammonitiden, sobald die eine oder andere Gattung schneckenartig gewickelt ist (Cochloceras, Turrilites) links gewunden, während alle Heteroceras-Arten eine rechtsgewundene Röhre bilden.

7. Jede der 12 Perioden ist durch eine systematisch einheitliche marine Synusie ausgezeichnet, die zwar mit der Lebewelt der vorhergehenden wie der folgenden Periode nahe verwandt ist, aber doch viele chronologisch begrenzte Eigenschaften erkennen läßt.
8. Man kann diese verschiedenen Perioden der Erdgeschichte in mehrere Gruppen einteilen (Urzeit, Altzeit, Mittelzeit, Neuzeit), die zwar durch mannigfaltige Übergangsfaunen und Floren biologisch verbunden sind, aber sich doch systematisch unterscheiden.
9. Die Faunen der Wasserwelt zeigen vom Kambrium bis zur Gegenwart einen beständigen Artenwechsel, der in einer ganz bestimmten, nicht wieder rückläufig werdenden Linie geschieht. Die Arten folgen immer scharf gesondert in regelmäßigen Reihen aufeinander und eine diffuse Variation derselben fehlt in der Vorzeit ebenso wie in der rezenten Gegenwart.
10. Eine Entwicklung der Wasserfauna von primitiven zu höher entwickelten Formen läßt sich seit dem Kambrium nicht beobachten. Der Formenwechsel der Landwelt erfolgt dagegen in grundsätzlich anderer Weise. Denn neben plötzlich neuauftretenden Formenkreisen, die sich dann ungemein rasch verbreiten und ändern, sehen wir andere Arten von großer Lebensdauer.
11. Bei jedem Wechsel der Umwelt, wie er aus dem Gesteinswechsel erschlossen werden kann, sehen wir kleine Formenkreise verschwinden und aus den überlebenden Zweigen des Stammbaumes neue Formenkreise entstehen, welche sich entweder durch Artbildung oder durch Umbildung einzelner Organe von ihren Ahnen unterscheiden.
12. Die großen Veränderungen (Anastrophen) der luftatmenden Landwelt erfolgten nicht gleichzeitig mit den Umgestaltungen der marinen Wasserwelt und zeigen auch nicht die Gesetzmäßigkeit und weite Verbreitung neuauftretender mariner Formenkreise.

Aber alle diese formativen Vorgänge werden von einem ganz wunderbaren Gesetz geregelt:

Wenn wir das harmonische Zusammenspiel aller Lebensvorgänge bei der Gestaltung eines Lebewesens mit Roux als Selbstregulierung zusammenfassen und uns fragen, in welcher Weise dieselbe die Lebensvorgänge bestimmt, so können wir, das Leben der Gegenwart mit dem der Vorzeit vergleichend, sagen:

1. Die Selbstregulierung regelt vom Augenblick der Befruchtung bis zur Erreichung der normalen Körpergröße die allmähliche Veränderung aller Organe und aller Gewebe in jeder Person in derselben Weise.
2. Die Selbstregulierung bestimmt ebenso die raschen Umänderungen, welche als Metamorphosen dem normalen Wachstum vieler Tiere und Pflanzengruppen eingeschaltet sind.
3. Die Selbstregulierung wirkt nach Erreichung der mittleren Körpergröße in grundsätzlich verschiedener Weise, indem sie die Körperform und die Funktionen ihrer Organe so lange konstant erhält, bis Alterungserscheinungen zum teilweisen Ausfall der Funktionen führen und die Organe derselben senil verkümmern.
4. Die Selbstregulierung regelt das biologische Zusammenleben verschiedener Arten an demselben klimatisch bedingten Standort, bestimmt die Anzahl der daselbst auftretenden Personen und die Erfüllung des für sie günstigen Lebensraumes.

Alle diese Sätze entsprechen nicht allein den in der Gegenwart herrschenden Erscheinungen, sondern treten uns in derselben Weise bei einer biologischen Betrachtung der fossilen Organismen entgegen.

Es ist die allgemeine Annahme aller Biologen, daß zwischen den verschiedenen Arten, die heute die Erde bewohnen, nicht nur morphologische Unterschiede bestehen, sondern daß diese der Ausdruck für zeitlich abgelaufene Veränderungen sind.

So ist das Problem der Entwicklung und jede phyletische Betrachtung der rezenten Lebewelt eine historische Frage, und es ist dabei von untergeordneter Bedeutung, ob der ontogenetische Formenwechsel in einem Tag seine Endform erreicht, oder ob der phylogenetische Formenwechsel Jahrtausende braucht, bis seine Endform als „neue“ Art erreicht ist.

Die kurzfristigen Vorgänge des ontogenetischen Wachstums und der individuellen Entwicklung finden ihre Parallele in den langfristigen Umformungen, die zur Bildung neuer Arten führen, und der an große Zeiträume gewöhnte Paläontolog wird in der zur Erreichung der individuellen Wachstumsgröße oder der neuen Artform nötigen kürzeren oder längeren Zeitspanne keinen grundsätzlichen Gegensatz erblicken können.

Ebenso wie die ontogenetischen Verwandlungen eines wachsenden Lebewesens von den Gesetzen der Selbstregulierung beherrscht werden und diese Gesetze in doppelter Weise walten: zuerst, indem sie die Dimensionen der Organe, oft auch ihre äußere und innere Gruppierung und die Funktion der Gewebe beständig verändern, und dann, indem sie im Zustand der Reife ein Gleichgewicht der Organbildung und ihrer biologischen Funktionen erzeugen — so können wir auch die historischen

Vorgänge der Artbildung in zwei grundverschiedene Stadien zerlegen: Zuerst ändert sich die Organisation der Art unter dem Einfluß beständig wechselnder Selbstregulierung bis die Eigenschaften der neuen Art erreicht sind — dann bestimmt dieselbe funktionelle Regulierung die bleibende Dauer der durch zeitlich abgelaufene Vorgänge erreichten neuen Artcharaktere.

Die Parallele des individuellen Wachstums mit dem generellen Vorgang der Artbildung ist überraschend, verschieden ist nur die für den veränderlichen Vorgang notwendige Zeit.

Der Botaniker und Zoologe hat nur den kurzen Zeitvorgang der Ontogenie vor Augen, der Paläontologe sieht den Vorgang der Artveränderung an tausenden von fossilen Arten, die in einem Schichtenstoß von 25000 m Mächtigkeit chronologisch wohlgeordnet eingeschlossen sind. Der Biologe kann durch kurzfristige Experimente unter künstlichen, aber einseitigen Umständen neue Rassen, vielleicht neue Arten hervorbringen, aber sobald er diese gezüchteten Generationen dem freien Spiel der natürlichen äußeren Umstände überläßt, verwildern sie, d. h. sie nähern sich wieder dem Ausgangspunkt des Züchtungsversuches oder sie sterben aus.

Die Artveränderungen, die uns in den geologischen Dokumenten der Erdgeschichte vor Augen geführt werden, kehren nicht in ihre natürliche Ausgangsform zurück.

Aber bei einer biologischen Betrachtung des Artwechsels der fossilen Lebewelt fallen uns noch einige andere merkwürdige Tatsachen auf, die von den Biologen kaum beachtet, aber von den Geologen überall beobachtet werden:

Die chronologische Folge neuer Arten ist gebunden an den Fazieswechsel der Gesteine und, wenn wir in ihm die Dokumente der geologischen Umstände sehen dürfen, an einen Wechsel in der bionomischen Umwelt.

Wenn man sich in den biologischen Mittelpunkt des Lebensbezirkes einer Art, das heißt an den Ort, wo die meisten gleichzeitig lebenden Personen gefunden werden, versetzt und von ihm aus die Veränderungen seiner Grenzen überschaut, dann scheinen dieselben beständig um eine mittlere Grenzlinie zu schwanken.

Einen grundverschiedenen Eindruck wird der Beobachter gewinnen, der dieselben Vorgänge von einem außerhalb des Lebensbezirks gelegenen peripheren Standort verfolgt. Er sieht ein aktives Vordringen der Fauna (Immigration) oder, wenn dieselbe weicht, einen Rückzug (Emigration).

Ein wiederum verschiedenartiges Bild entsteht, wenn wir diese Vorgänge im Querschnitt des geologischen Profils einer längeren Schichtenfolge betrachten. Fällt der Abschluß zufällig in die Schnittebene des zentralen Heimatgebietes, dann werden wir dieselbe Fauna unverändert vom Liegenden bis zum Hangenden in allen Schichten fortlaufend

verbreitet sehen. So umgrenzt die Fazies des Gesteins den Fossilgehalt ebenso, wie der geographische Standort die Grenzen der Art bestimmt, und so wie die verschiedenen Gesteine meist ohne allmähliche Übergänge aufeinander liegen, wohl aber häufig durch auskeilende Wechsellagerung verbunden sind, folgen auch die fossilen Arten in den sich zeitlich überlagernden Schichten ohne variierende Übergänge nacheinander.

Diese Sätze gelten aber in ihrer allgemeinen Gültigkeit nur für die marine Lebewelt. Schon die Bewohner des Brackwassers, aber auch die des übersalzenen salinen und süßen Wassers und vor allem die Landwelt zeigt eine andere chronologische Folge, indem manche Arten merkwürdig lange konstant, andere ebenso variabel auftreten.

Der früher betonte Gegensatz bodenständiger Dauerformen und transgredierend auftretender bodenfremder Leitformen wird für den Geologen dadurch noch verwickelt, weil in vielen fossilen Faunen auch passiv herbeigetragene Treibkörper eingeschaltet sind, die als Leitfossilien eine besonders wichtige Rolle spielen und daher bei einer biologischen Analyse des Fundorts gesondert betrachtet werden müssen. Denn die Graptolithen, Fusulinen, Schwagerinen, besonders aber die Goniatiten, Ammoniten und Belemniten sind uns in der Regel nur in passiv verbreiteten leeren Hartgebilden bekannt, deren geographisches und chronologisches Auftreten nicht so sehr von bionomischen Umständen, als von Meeresströmungen und Windrichtung bestimmt werden und zuletzt mechanisch zerlegt, als litorale Säume von den Wellen angeordnet werden.

Aber wenn wir von solchen Elementen in einer fossilen Lebewelt absehen und uns mehr an die bodenständigen marinen Formenkreise halten und deren geologische Verbreitung in Raum und Zeit ins Auge fassen, so sehen wir, daß bei einer regionalen Transgression, d. h. einer auf größeren Gebieten gleichzeitig erfolgenden Umgestaltung des Mediums oder der Bedingungen des Lebens, die neue Lebewelt unvermittelt über einer älteren Lebewelt liegt.

Wenn wir den heimatlichen Lebensraum der neuen Fauna oder Flora in näherer oder fernerer Entfernung aufsuchen, so finden wir meist dort die Gattungen wieder, aus denen die neuen Arten hier abgeleitet werden können.

Auf dem Wanderweg fehlen aber ebenso wie in dem alten oder im neuen Lebensraum die variierenden Übergangsformen. Die Tragweite dieser Erfahrungssätze ist mit Rücksicht auf die Gesetze der biologischen Selbstregulierung des Lebens besonders bemerkenswert.

Zugleich sehen wir aber in zahllosen Profilen, in denen solche neue Arten und neue Faunen unvermittelt mit einem neuen Gestein erscheinen, eine weitere überaus auffallende Tatsache, die in Widerspruch steht mit weit verbreiteten Vorstellungen über das Neuauftreten von organischen Arteigenschaften:

Der biblische Bericht von der Schöpfung eines einzigen Elternpaares, von dem alle übrigen Menschen abstammen sollen, und die auf denselben Voraussetzungen beruhende Erzählung über den Lebensinhalt der Arche, in welcher von jeder Tierart ein Paar vor der lebenvernichtenden Flut gerettet wurde, und die nach der Katastrophe die Ahnen einer zahlreichen monophyletischen Nachkommenschaft bilden sollten, hat die Vorstellung verbreitet, daß jede neue Art zuerst immer nur in einigen wenigen Exemplaren auftrete, die dann durch beständige Vermehrung und ausgedehnte Wanderungen einen immer größeren Lebensraum erfüllten.

Auch die züchterischen Erfahrungen, die Mutationslehre und die Experimente der modernen Vererbungslehre geben dem Gedanken Vorschub, daß neue Erbfolgen zunächst mit einem Elternpaar auftreten und erst allmählich im Laufe vieler Generationen von diesem Schöpfungszentrum sich vermehrten und verbreiteten.

Die Richtigkeit solcher auf altüberkommenen Vorstellungen und neuen Erfahrungen beruhenden Anschauungen kann man natürlich nur an solchen fossilen Tierformen nachprüfen, die in individuenreichen Faunen verbreitet sind. Planktonische Foraminiferen, benthonische Brachiopoden, Muscheln und Schnecken, nekroplanktonische oder nektonische Cephalopoden, die oft ganze Schichten erfüllen, können uns über die Frage Gewißheit verschaffen, ob neue Arten zwischen älteren Formenkreisen zunächst in vereinzelten Personen erscheinen, von einem Heimatsort in den hangenden Schichten aus schrittweise über weitere Flächen verbreitet wurden und sich schrittweise in deutlichen Wanderstraßen ausdehnten.

Die geologischen Tatsachen lehren uns aber ganz andere Gesetze kennen: Denn neue Arten und transgredierende Faunen erscheinen ohne solche vermittelnde Übergänge mit der neuen Fazies gleichzeitig in großer Personenzahl über ungeheure Flächen verbreitet.

Auch diese Tatsache, auf der die Durchführung einer einheitlichen Kartierung großer Länder beruht, die aus den biologischen Horizonten hervorleuchtet, welche in großen Schichtenfolgen von wechselnder Gesteinsbeschaffenheit oder gliedernden Stufen auftreten, muß uns zu einer Revision der so weit verbreiteten monogenetischen Anschauungen führen. Denn der Geologe erkennt immer wieder, daß das syngenetische Erscheinen neuer Arten die Regel ist.

Während die Art eine historisch gewordene stabile Endform des organischen Formenwechsels darstellt, kann man die Gattung nicht in derselben Weise auffassen. Denn sie stellt doch eigentlich nur eine durch gemeinsame Artcharaktere theoretisch zusammengefaßte Gruppe von Spezies dar.

Das geht besonders aus ihrer geologischen Verbreitung hervor, die uns deutlich erkennen läßt, daß die generischen Eigenschaften eine viel größere Dauer besitzen als die spezifischen Charaktere. Nach R. Ruedemann, der die geologische Lebensdauer solcher Dauertypen in kritischer Weise verfolgt und zusammengestellt hat, ergibt sich etwa folgendes Bild:

Persistente Typen:

Foraminiferen:

Ordovizium — Rezent .	Saccamina
Silur — Rezent.	Lagena, Nodosaria
Karbon — Rezent . . .	Ammodiscus, Dentalina, Endothyra, Lituola, Rheophax, Textularia, Valvulina, Ammobaculites
Karbon — Tertiär . . .	Nummulites
Trias — Rezent.	Bulimina, Cristellaria, Frondicularia, Glandulina, Globigerina, Lingulina, Marginulina, Orbulina, Polymorphina, Vaginulina, Miliola, Placopsilina, Trochamminoides
Jura — Rezent	Astrorhiza, Rhabdammina, Marsipella, Bathysiphon, Rhizammina, Planorbulina, Pulvinulina, Rotalia, Polystomella, Cornuspira, Nubecularia, Ophthalmidium
Kreide — Rezent	Calcarina, Discorbina, Operculina, Sphaeroidina, Bolivina, Ellipsoidina, Chilostomella, Allomorphina, Dimorphina Hauerina, Alveolina

Spongien:

Kambrium — Karbon .	Hyalostelia
Devon — Kreide	Perodinella
Karbon — Jura	Cnemidiastrum (Hinde)
Karbon — Kreide. . . .	Doryderma (Hinde)
Trias — Kreide	Corynella, Raphidonema, Sestrostomella
Jura — Tertiär	Craticularia
Kreide — Rezent . . .	Cystispongia

Korallen:

Ordovizium — Devon .	Anisophyllum, Aulacophyllum, Columnaria, Halysites, Heliolites, Plasmopora
Ordovizium — Karbon .	Amplexus, Aulopora, Cyathophyllum, Emmonsia, Favosites, Petraia
Silur — Karbon	Clisiophyllum, Strephodes, Syringopora, Zaphrentis
Karbon — Jura	Chaetetes
Trias — Kreide	Isastraea, Stylina
Trias — Tertiär	Astrocoenia, Astraeomorpha, Calamophyllia, Dimorphastraea, Montlivaultia, Phyllocoenia, Thecosmilia, Dimorpharaea
Trias — Rezent.	Stephanocoenia
Jura — Tertiär	Comoseris, Cyclolites, Leptoria
Jura — Rezent	Cladocora, Favia, Goniastraea, Orbicella, Stylophora, Trochocyathus, Thecocyathus
Kreide — Rezent	Caryophyllia, Ceratotrochus, Coelosmilia, Diploria, Lophosmilia, Sphenotrochus, Goniastraea, Porites, Turbinaria, Heliopora

Unter den Graptolithen kennen wir Dictyonema vom Ordovizium bis zum Karbon, Desmograptus vom Ordovizium zum Devon.

Crinoidea:

Silur — Karbon. . . . . Cyathocrinus, Saccocrinus, Eutaxocrinus
Trias — Rezent. . . . . Isocrinus, Monachocrinus
Kreide — Rezent . . . . Rhizocrinus

Im Gegensatz zu den kurzlebigen Ophiuroiden finden wir unter

Asteroiden:

Devon (?) — Rezent . Astropecten
Jura — Rezent . . . . . Oreaster
Kreide — Rezent . . . . Calliderma, Nymphaster, Comptonia

Echinoidea:

Silur — Karbon. . . . . Koninckocidaris
Karbon — Jura . . . . . Miocidaris
Trias — Kreide . . . . . Hemicidaris (subgenera) (Subgenus Hypodiadema, Trias—Kreide)
Trias — Rezent. . . . . Cidaris (Subgenus Rhabdocidaris Jura — Rezent; Leiocidaris Kreide — Rezent)
Jura — Rezent . . . . . Hemipedina, Centrechinus (Diadema auct.)
Jura — Tertiär . . . . . Cyphosoma, Nucleolites (Echinobrissus), Pseudodiadema, Cyphosoma
Kreide — Rezent . . . . Linthia, Salenia, Echinus, Echinocyamus, Fibularia, Rhynchopygus (subgenus von Cassidulus), Palaeolampas

Vermes:

Ordovizium — Rezent . Spirorbis
Ordovizium — Devon . Cornulites
Ordovizium — Karbon . Ortonia
Silur — Rezent . . . . Serpula (Sammelname für verschiedene Formen)
Jura — Rezent . . . . . Terebella

Bryozoa:

Ordovizium — Devon . Corynotrypa, Ceramopora, Discotrypa, Eridotrypa, Hallopora, Monotrypa, Monotrypella, Pseudohornera, Petalotrypa
Ordovizium — Karbon . Lioclema, Rhopalonaria, Vinella, Heteronema
Ordovizium — Perm . . Rhombopora
Ordovizium — Rezent . Berenicea (culminirt Jura — Kreide) Stomatopora, Proboscina
Silur — Karbon . . . . Allonema, Ascodictyon, Chilotrypa, Eridopora, Hemitrypa, Meekopora, Acanthoclema
Silur — Perm . . . . . Fistulipora, Polypora, Thamniscus, Batostomella, Cystodictya, Dichotrypa, Coscinium, Fenestella, Pinnatopora, Phyllopora
Trias — Rezent. . . . . Ceriopora
Jura — Tertiär . . . . . Diastopora, Fasciculipora, Theonoa
Jura — Rezent . . . . . Entalophora, Heteropora, Idmonea, Lichenopora, Spiropora, Crisina, Membranipora, Onychocella
Kreide — Rezent . . . . Crisia, Filisparsa, Phalangella, Actinopora, Eucratea, Cyrtopora, Reticulipora, Discocavea, Hornera, Cribrilina, Lepralila, Lunulites Floridina, Smittipora, Micropora, Membraniporella, Porina, Selenaria, Schizoporella, Smittina, Mucronella, Porella

Brachiopoden:

Ordovizium — Devon . Dalmanella, Glassia, Scenidium, Atrypa, Atrypina, Schizocrania
Ordovizium — Karbon . Leptaena, Pholidops Rhipidomella
Ordovizium — Perm . . Chonetes

Ordovizium — Kreide . Orbiculoidea
Ordovizium — Rezent . Crania, Lingula
Silur — Karbon . . . . Schizophoria, Schuchertella, Camarotoechia, Wilsonia, Cyrtina, Nucleospira, Spirifer
Devon — Perm . . . . . Dielasma, Strophalosia, Seminula
Karbon — Jura . . . . . Spiriferina
Trias — Kreide . . . . . Aulacothyris
Jura — Rezent . . . . . Acanthothyris, Lacazella, Magellania, Megathyris, Muehlfeldtia. Terebratella, Terebratulina
Kreide — Rezent . . . . Agulhasia, Argyrotheca

Muscheln:
Ordovizium — Devon . Cleidophorus
Ordovizium — Karbon . Pterinea
Silur — Karbon . . . . . Aviculopecten, Cardiomorpha
Silur — Jura . . . . . . Posidonomya
Silur — Rezent . . . . . Leda, Nucula
Devon — Trias . . . . . Solenopsis, Pleurophorus
Devon — Kreide . . . . Pseudomonotis
Devon — Tertiär . . . . Parallelodon (Maximum in Kohlenlagern)
Devon — Rezent . . . . Modiolus, Pteria
Karbon — Kreide . . . Entolium, Myoconcha
Karbon — Rezent . . . Atrina, Lima (subgenus Limaea: Jura — Rezent), Ostrea, Solemya, Lithophagus (Lithodomus)
Trias — Kreide . . . . . Homomya, Opis, Pleuromya, Tancredia, Unicardium
Trias — Tertiär . . . . . Gervillia
Trias — Rezent . . . . . Alectryonia, Cardita, Cardium, (subgenera), Chlamys, Corbula, Gastrochaena, Hinnites Limopsis, Mytilus, Pedalion, (Perna auct.) Plicatula, Thracia, Lucina
Jura — Tertiär . . . . . Anisocardia, Gryphaea
Jura — Rezent . . . . . Amusium, Anatina, Anomia, Arctica, Camptonectes, Corbis, Cucullaea, Cuspidaria, Cyrena, Cyrtopinna, Isocardia, Pholadomya, Pholas, Pinna, Spondylus, Tellina, Teredo, Trapezium, Venus, Trigonia
Kreide — Rezent . . . . Acila, Acharax, Yoldia, Batissa, Chama, Clavagella, Crassatellites, Dosinia, Glycimeris, Panope, Pecten, Pseudamusium, Sphaerium, Spisula, Venericardia, Ungulina, Thyasira, Paphia

Scaphopoden:
Silur (?) — Rezent . . Laevidentalium
Karbon — Trias . . . . . Plagioglypta
Kreide — Rezent . . . . Antalis, Fustiaria, Cadulus

Gastropoden:
Kambrium — Silur . . . Trochonema
Kambrium — Karbon . Subulites
Kambrium — Trias . . . Murchisonia
Kambrium — Rezent! Capulus
Ordovizium — Devon . Cyclonema, Eunema, Holopea, Lophospira, Oxydiscus, Sinuites
Ordovizium — Karbon . Omphalotrochus
Silur — Karbon . . . . . Diaphorostoma, Lepetopsis, Metoptoma, Holopella, Natiria, Orthonychia, Platyceras, Platyschisma
Silur — Perm . . . . . . Bellerophon

Silur—Trias . . . . . . Euomphalus, Loxonema, Macrocheilus, Scalites (?)
Silur—Trias . . . . . . Straparollus
Silur—Rezent! . . . . Acmaea, Eotrochus, Patella, Pleurotomaria, Trochus (subgenera), Turbo (?)
Devon—Trias . . . . . Naticopsis
Devon—Kreide . . . . Zygopleura
Karbon—Jura . . . . . Bourgetia
Karbon (?)—Tertiär . Pseudomelania
Karbon—Rezent! . . . Actaeonina, Emarginula, Fissuridea (?), (Fissurella auct.), Vermicularia (Vemetus auct.), (?) (Subgenera)
Trias—Kreide . . . . . Amberleya, Cylindrites, Fibula
Trias—Tertiär . . . . . Discohelix
Trias—Rezent! . . . . Astralium (subgenera), Calliostoma, Cylichna, Delphinula, Eulima, Epitomium (subgenera), Monodonta, Natica (subgenera), Nerita (?), Neritopsis, Niso, Turritella (subgenera)
Jura—Tertiär . . . . . Pileolus, Tornatellaea
Jura—Rezent . . . . . Aporrhais (subgenera), Buliaria (?), Bullina, Cerithium (subgenera), Cypraea, Etallonia, Fusus, Hydatina, Liotia, Littorina, Mathilda, Melania, Rimula, Rissoa, Rissoina, Scurria, Solarium
Kreide—Rezent . . . . Acteon, Ancilla, Bithinia, Calyptraea, Chrysodomus, Clavatula (subgenera), Cominella, Conus (subgenera), Crepidula, Diastoma, Erato, Fasciolaria, Galeodea, Hipponyx, Hydrobia, Latirus, Megalomastoma, Melanopsis, Murex (subgenera), Nassa, Nyctilochus (Tritonium), Oliva, Phasianella, Philine, Pleurocera Pseudoliva, Potamides (subgenera), Pyramidella, Pyrula, Rapana, Rimella, Ringicula, Scaphander, Siliquaria, Strombus, Tonna, Tudicla, Turricula, Turris (Pleurotoma) (subgenera), Typhis, Vivipara (subgenera), Xenophora

Pulmonaten:
Jura—Rezent . . . . . Auricula, Carychium, Lymnaea, Planorbis, Physa
Kreide—Rezent . . . . Glandina, Megaspira

Es gibt auch persistente Typen unter den Pteropoden:
Kreide—Rezent. . . . Clio (subgenera), Vaginella

Conularia lebt von Ordovizium—Jura; Hyolithes vom Kambrium bis Perm.

Die Cephalopoden liefern folgende persistente Typen unter den gesamten Nautiloiden:
Ordovizium—Devon . Clinoceras, Cyclostomiceras, Zitteloceras
Ordovizium—Karbon . Actinoceras (subgenera), Geisonoceras, Loxoceras, Poterioceras, Spyroceras
Ordovizium—Perm . . Cycloceras
Silur—Karbon . . . . Kionoceras, Protobactrites, Thoraceras

Es fehlen dagegen völlig persistente Formenkreise unter den Ammonoiden und Dibranchiaten. Bei den Trilobiten finden wir vom
Ordovizium—Devon . Goldius (Bronteus), Calymmene, Conolichas, Cyphaspis, Hoplolichas
Ordovizium—Karbon . Proetus

Branchiopoden:

Devon — Pleistocene . Estheria
Trias — Rezent . . . . . Apus

Ostracoden:

Ordovizium — Devon . Beyrichia, Primitiella
Ordovizium — Karbon . Aechmina, Bollia, Entomis, Leperditia, Ulrichia
Ordovizium — Perm . . Primitia
Ordovizium — Rezent! Bairdia (Maximum) im Karbon, Bythocypris, Cypridina, Cytherella, Macrocypris
Silur — Rezent! . . . . Pontocypris
Perm — Rezent! . . . . Cythere
Jura — Rezent . . . . . Cytheridea
Kreide — Rezent . . . . Cythereis, Cytherideis

Cirripeden:

Kambrium (?) — Devon Turrilepas
Ordovizium — Devon . Lepidocoleus
Kreide — Rezent . . . . Chthamalus, Scalpellum

Malacostraca:

Trias — Kreide . . . . . Glyphaea, Lithogaster
Jura — Rezent . . . . . Callianassa
Kreide — Rezent . . . . Astacus (?), Homarus (?), Nephrops (?), Panopeus

Merostomata:

Ordovizium — Devon . Pterygotus
Ordovizium — Perm . . Eurypterus
Trias — Rezent . . . . . Limulus

Fische (Selachier):

Trias — Kreide . . . . . Acrodus
Jura — Rezent . . . . Cestracion, Hybodus, Pristiurus, Rhinobates
Kreide — Rezent . . . . Acanthias, Callorhynchus, Carcharodon, Centrophorus, Lamna, Pristiophorus, Odontaspis, Raja, Scapanorhynchus, Scyllium, Squatina

Dipnoi:

Trias — Rezent . . . . . Ceratodus

Teleostei:

Kreide — Rezent . . . . Diplomystus (in Flüssen von Neusüdwales und Chile)

Während es keine persistenten Typen unter den Batrachiern gibt, ist von den Reptilien nur Chelone von Kreide — Rezent bekannt.

Auch unter den Vögeln und Säugetieren fehlen persistente Typen.

An diese mit erhaltungsfähigen Hartgebilden versehenen Gattungen müssen wir noch eine Anzahl „Weichtiere“ anreihen, deren phyletisch frühere Existenz von namhaften Biologen angenommen worden ist, ohne daß paläontologische Beweise dafür zu erbringen wären und die in der heutigen Fauna als auffallende Relikte einer längst verflossenen Zeit oft Verwunderung erregt haben. Die rezente Fortexistenz der Amöben, des

Peripatus oder des Amphioxus erscheint nicht so befremdend, wenn wir sehen, wie viele hartschalige Gattungen nachweislich eine so lange Lebensdauer besessen haben.

Endlich aber müssen wir in diesem Zusammenhang auf die wenig beachtete, überaus wichtige Tatsache hinweisen, daß an der Grenze des Kambrium und des Untersilur ein so grundsätzlicher Faunenwechsel eingetreten ist, daß nur ganz wenige Vertreter der urzeitlichen Synusien in die Lebensgenossenschaften der Altzeit hinüberreichen. Die Archaeocyathiden, Salterellen und die vielen neuerdings von WALCOTT im kanadischen Felsengebirge entdeckten zarten Arthropoden stehen den seit der Untersilurzeit lebenden Formenkreisen scharf gegenüber, während die im Ordovizium neu auftretenden Gruppen dann ausnahmslos bis zur Gegenwart reichen. Wir müssen daraus den Schluß ziehen, daß uns im Kambrium die letzten Vertreter einer älteren, vollkommen ausgestorbenen Urfauna erhalten sind und daß eine der tiefgreifendsten stratigraphisch-biologischen Grenzen zwischen Kambrium und Silur gezogen werden muß.

Wir sehen also in den Arten der Pflanzen und Tiere Endformen eines Formenwechsels, der von dem Wachstumsvorgang nur durch die Zeitlänge, aber nicht grundsätzlich unterschieden werden darf. Denn während die harmonischen Wachstumsgrenzen des Reifens in den kurzen Abschnitt individuellen Lebens fallen, ist die geologische Zone, selbst wenn wir ihre absolute Zeitdauer nicht bestimmen können, der Ausdruck für den durch innere Wachstumsgesetze geregelten Wandel von einer Art zur andern.

Literatur

Alverdes, Friedr., Rassen- und Artbildung. Abhandlungen zur theoretischen Biologie. Heft 9, Berlin 1921. — Beecher, Charles E., Studies in Evolution. Charles Scribners Sons, Newyork 1901. — von Bubnoff, Serge, Über einige grundlegende Prinzipien der paläontologischen Systematik. Zeitschr. f. induktive Abstammungs- und Vererbungslehre, 1919, Bd. XXI. — Deecke, W., Über die Trigonien. Paläontol. Zeitschrift Bd. VII, Heft 2, 1925. — Gerth, H., Über die Entwicklung des Septalapparates bei den paläozoischen Rugosen und bei lebenden Korallen. Zeitschr. für induktive Abstammungs- und Vererbungslehre, Bd. XXI, 1919. — Grabau, A. W., Studies of Gastropoda. Am. Nat. B. XXXVI, S. 917—945. 1902. — Grabau, A. W., Studies of Gastropoda. II. Ibid. B. XXXVII, S. 515—539, 1903. — Grabau, A. W., Phylogeny of Fusus and its Allies. Smiths. Misc. Coll. B. X., B. XLIV, 1904. — Grabau, A. W., Studies of Gastropoda. III. On Orthogenetic Variation in Gastropoda. American Nat. B. XLI, No. 490, S. 607—651, 1907. — Grabau, A. W., and Reed, Margaret. Mutations of Spirifer mucronatus. Sev. I. Int. Zool. Congr. Proc. Boston 1907. Advance Sheets 1910. — Hyatt, Alpheus, Genesis of the Arietidae. Smiths. Contrib. to Knol. 6. 238 S., 14 Taf., 1889. — Jaekel, O., Funktion und Form in der organischen Entwicklung. Paläontol. Zeitschr. Bd. V, 1922. — Klähn, Hans, Der Wert der Variationsstatistik für die Paläontologie. Ber. d. Naturforsch. Ges. Freiburg 1920. — Loomis, F. B., Ontogeny: A Study of the Value of Young Features in Determining Phylogeny. Pal. Rec. S. 51—53. Rep. from Pop. Sc. Month. 1910. — Möbius, K., Die Bildung der Artbegriffe. Zool. Jahrb.

Abt. f. System. 1886. — Richter, Rud., Über die Organisation von Harpes. Beiträge zur Kenntnis devonischer Trilobiten. Abh. der Senckenbergischen Naturf. Ges. Bd. XXXVII. 1920. — Roux, Wilh., Prinzipielle Sonderung von Naturgesetz und Regel, von Wirken und Vorkommen. Sitzung der physik.-math. Klasse der Akad. d. W. Berlin, 6. Mai 1920. — Ruedemann, R., The The Palaeontology of arsested evolution. Bull. Newyork Stat. Museum 1916, Albary 1918. — Schlechtendal, D. v., Über die karb. Insekten und Spinnen von Wettin unter Berücksichtigung verwandter Faunen. T. I, Leipzig 1913. — Siemiradski, J., Monograph. Beschreibung der Ammonitengattung Perisphinctes. Palaeontographica 45. Bd. 1898/1899. — Tivadar, Kormas, Uj adatok a Püspökfürdö elö csigainak ismeretehez. Különlenyomat az Allattani Közlemenyek III kötetenek 2. füzeteböl. Budapest 1904. — de Vries, Hugo, Die Mutationstheorie. Leipzig 1901. — de Vries Hugo, Die Mutationen in der Erblichkeitslehre. Berlin 1912. — Wepfer, E., Die Gattung Oppelia im süddeutschen Jura. Palaeontographica 59. B. 1911. — Yakowlew, Die Entstehung der charakteristischen Eigentümlichkeiten der Korallen Rugosa. Memoires du Comité Geologique 66. St. Petersburg 1910.

58. Das Reich der Wasseratmer

In der Gegenwart wird jede der drei beweglichen Hüllen, die als Hydrosphäre, Klastosphäre und Atmosphäre die Erdkugel umgeben, von einer besonderen Lebewelt bewohnt, die man seit alters als das Reich des Wassers, der Erde und der Luft bezeichnet, und jedes dieser drei Naturreiche enthält so verschiedene Elemente, daß wir bei einer rein ökologischen Gegenüberstellung ihre wesentlichen Unterschiede nicht erkennen. Denn ein Ichthyosaurus oder ein Wal wird zu den Wassertieren, ein Seegras zu den Wasserpflanzen gerechnet, ein Schwimmvogel bewegt sich in allen drei Medien und eine Landkrabbe oder eine Landschnecke ist durch ihre Kiemenatmung von ihren Lebensgenossen scharf getrennt.

Indem wir die „Wasseratmer“ den Luftatmern gegenüberstellen, wollen wir tiefer liegende, physiologische Gegensätze im ganzen Stoffwechsel-Mechanismus betonen.

Denn die Atmung, d. h. die Aufnahme von O-haltigen Gasen oder Lösungen aus der Umgebung ist zwar nur eine Teilerscheinung des allgemeinen Stoffaustausches, aber sie bringt so offenkundig den biologischen Unterschied zwischen den beiden Gruppen von Lebewesen zum Ausdruck, daß wir diese Funktion des Lebens in den Vordergrund stellen, indem wir untersuchen, welche Organe und welche Leistungen von den festländisch gewordenen Lebewesen neu erworben werden mußten.

Die Wasseratmer sind umgeben von dem spezifisch schweren Medium einer salzhaltigen oder salzarmen Lösung, mit der die Gewebe des Körpers nicht nur durch die äußere Haut, sondern auch durch alle inneren Schleimhäute in beständigem osmotischen Austausch stehen. Wenn hierbei die Epidermis der Kiemen den O-CO_2-Austausch, die Darmschleimhaut den Austausch der Nahrung und der Flüssigkeiten, der Endabschnitt des Darms und die Drüsen des Körpers wieder andere Formen des

Lösungsaustauschs zu vollziehen haben, so stehen doch alle diese osmotischen Vorgänge während des Lebens unter dem individuellen oder speziellen Gesetze der Selbstregulierung und erst bei Krankheit oder Tod wird die Selbstregulierung der Gewebe ausgeschaltet und der normale anorganische Lösungsdruck bestimmt die weiteren Schicksale derselben.

Die Grenzfläche zwischen Hydrosphäre und Atmosphäre trennte bis zur Devonzeit das Salzmeer als die Urheimat des Lebens von dem leblosen Gebiet der Urwüsten. Seitdem einige kühne anpassungsfähige Pflanzen- und Tiergruppen unter dem eisernen Zwang regional wirkender Naturkräfte diese Grenzfläche durchbrochen und sich auf dem trockenen Land angesiedelt haben, verbreitete sich zwar eine luftatmende Lebewelt ungestüm über alle Festländer, aber jener biologisch so wichtige Schritt ist seitdem wahrscheinlich nie in so großem Maßstab wiederholt worden.[1]) Dieselben Stammesreihen, die wir im Karbon sich auf dem Land verbreiten sehen, beherrschen auch heute noch die systematische Zusammensetzung der luftatmenden Organismen.

Bei dieser grundlegenden Bedeutung der Hydrosphäre für die physiologischen und morphologischen Eigenschaften der Mehrzahl aller Tier- und Pflanzengruppen müssen wir ihre Umwelt nochmals darauf prüfen, wie sie der Wandel des Lebens in Raum und Zeit beeinflußt hat.

Die wichtigste Eigenschaft des Wasserreichs ist seine geschlossene Einheit als einer von festländischen Lücken vielfach durchbrochenen, aber doch seit der Untersilurzeit in sich einheitlichen Kugelschale.

Damit hängt aufs engste zusammen, daß eine einheitliche, qualitativ übereinstimmende Salzlösung die ganze Erde umspült. Vielfach ändert sich dieses Lösungsgemisch unter dem Einfluß klimatischer Kräfte, aber die allgemeine Bewegung der Hydrosphäre sucht diese Einzellösungen im Weltmeer immer wieder auszugleichen.

Wir haben schon ausgeführt, daß bis zum Kambrium ein solches „Weltmeer" nicht vorhanden war, daß vielmehr große und kleine Endseen auf den leblosen Urfestländern verteilt waren.

Wir nehmen an, daß bis zum Ende des Kambrium eine wechselnde Zahl einzelner Wasserbecken existierte, von denen jedes eine etwas verschiedene Lösung enthielt. Genau wie jeder Endsee in den heutigen Wüsten ein Lösungsgemisch sammelt, das von den verwitternden und

---

1) Man muß diesen Satz vielleicht zugunsten der heutigen nackten Urodelen und Anuren einschränken, die, wenn wir von dem stratigraphisch unsichern Fund eines Frosches aus der unteren Kreide von Spanien absehen, nur im Tertiär gefunden werden. Die im Karbon fertig entwickelt auftretenden Stegocephalen müssen im Devon entstanden sein und stehen den heutigen Amphibien durchaus fremd gegenüber. Über die Urgeschichte der Gymnophionen wissen wir nichts, aber die von H. Credner zuerst erkannte Übereinstimmung ihrer Hautschuppen mit denen der unterpermischen Branchiosaurier deuten darauf hin, daß hier eine Stammesverwandtschaft besteht.

lösenden Vorgängen innerhalb der rings geschlossenen Wasserscheide der ihm tributären dauernden oder periodischen Zuflußrinnen bedingt wird, mußten auch jene Urseen in der Urwüste einen individuellen chemischen Charakter haben.

Dadurch wurde die Bildung von chemisch ganz verschiedenen Hartgebilden begünstigt und so mag in der vorsilurischen Urzeit das eine große Wasserbecken von einer Lösung erfüllt gewesen sein, welche die Abscheidung von Kalkschalen begünstigte, während die in einem andern Becken lebenden Gruppen ihre Hartgebilde aus Kieselsäure bauen mußten. Daneben müssen noch viele Sonderbecken existiert haben, in denen die verschiedenen hornskelettbildenden Tiere lebten.

Wir vermuten, daß die chemische Eigenart vieler solcher Urseen auch noch manche anderen Stoffe als spezifische „Hartgebilde" zur Ausscheidung brachte, daß aber die große Mehrzahl derselben durch Auslese beim Zusammenfließen des kambrischen Urozeans ausgeschaltet wurde.

Jedenfalls sind wir der Überzeugung, daß erst durch das Zusammenfließen dieser chemisch und biologisch getrennten Urseen das Weltmeer entstand, das seither durchaus monophyletisch blieb und in dem dann die Nachkommen von jenen ganz verschiedenen präkambrischen Beckenfaunen durcheinander gemischt gefunden werden.

Aber noch ein zweiter Vorgang läßt sich paläontologisch mit großer Sicherheit erschließen und auch seine chronologische Geschichte einigermaßen verfolgen:

Viele Tatsachen drängen zu dem Schluß, daß jene älteren Seen und auch das älteste daraus zusammenfließende Urmeer verhältnismäßig flache Tiefen aufwies. Weder die Gesteine noch die Faunen der älteren Perioden zeigen jene kosmopolitische Verbreitung, die für die rezenten Tiefen-Sedimente, und jenen Individuenreichtum, der für die Hochsee der Gegenwart bezeichnend ist.

Die permo-karbonischen Fusulinen und Schwagerinen, sowie die weltweite Verbreitung mancher Produktiden mit hydrostatischen hohlen Stacheln machen es wahrscheinlich, daß erst seit dem Beginn der Mittelzeit eine geschlossene Hochsee- und eine Tiefseefauna existierte.

Das Hervortauchen großer geschlossener Kontinente aus ebenso großen Tiefseegebieten, das wir seit dem Beginn der Tertiärzeit deutlich verfolgen können, zeigt deutlich, daß damals die Tiefsee wesentlich vergrößert wurde, so daß überall das Wasser von den Rändern der Festländer regredierend in jene zurückfloß. Die mit dem Ende der Kreidezeit so massenhaft erscheinenden und so weltweit verbreiteten Alveolinen, Nummuliten, Globigerinen und Orbulinen deuten uns an, daß mit jener Vertiefung und Verbreiterung der großen Ozeanbecken die Vergrößerung der Hochseegebiete Hand in Hand ging.

Bei jeder biologischen Betrachtung der Dokumente aus einer bestimmten Periode müssen wir diesen großen räumlichen Veränderungen des Weltmeers Rechnung tragen.

Aber dazu kommt noch ein weiteres veränderliches Moment, nämlich der mittlere Salzgehalt des, diese Becken erfüllenden Wassers.

Wir werden in einem folgenden Abschnitt die regulative Bedeutung des Seesalzes für den Artwechsel der marinen Lebewelt noch eingehend schildern und wollen hier nur vorgreifend herausheben, daß in jeder Periode eine andere Mischung der im Seewasser gelösten Stoffe angenommen werden muß.

Wenn wir nun die durch lithologische und biologische Vorgänge gebildeten, erdgeschichtlichen Dokumente der Wasserwelt überschauen, so müssen wir zunächst der staubigen Verwitterungsprodukte gedenken, die, gemischt mit kosmischen, vulkanischen und organischen Teilchen, durch Deflation in die irdische Atmosphäre gelangen, hier zu einem feinpulverigen gleichkörnigen Gemisch durcheinandergewirbelt werden, jahrelang in den höheren Regionen der Troposphäre schweben und endlich als trockener Staub, Schmutzregen oder staubführender Schnee herabfallen.

Dieser aus Teilchen mit geringem Durchmesser, aber größter Oberfläche bestehende äolische oder in Flußtrübe und Gletschertrübe verwandelte Staub wird überall abgelagert und darf daher als die Grundmasse aller anderen neptunischen Sedimente betrachtet werden. Von dem Löß, durch Bänderton, Auenlehm, Flußschlamm, Meeresschlamm; von den Schlickbänken der litoralen Watten bis zu dem roten Tiefseeton, in der Gegenwart ebenso wie in allen früheren Perioden, bildet dieser feinkörnige Pelit das wesentlichste und wichtigste Element aller aufgelagerten Gesteine.

Wir finden ihn als Ton, Lehm und Letten, ungefärbt oder von schwarzer, grauer, gelber, roter oder weißer Farbe, je nach den in seinem Ablagerungsgebiet herrschenden klimatischen Umständen, auf erster Lagerstätte oder umgelagert. Wir sehen ihn fossilleer oder ganz mit organischen Bitumen getränkt, finden ihn bald arm an bestimmbaren Versteinerungen, bald erfüllt mit in Schwefelkies prächtig erhaltenen Fossilien. Wir beobachten ihn in mächtigen Profilen langandauernder Auflagerung, in regelmäßiger Wechsellagerung mit benachbarten Sedimenten, oder als dünnen Staubschleier in dem tonigen Besteg, der reine Kalke in regelmäßige Bänke gliedert.

Wir finden ihn in der Umgebung von festländischen Vulkanen als Aschentuff, Feinsand oder Schieferton, und in der Nähe submariner Vulkane als Schalstein und fossilreichen Meeresschlamm. Oft bildet er nur eine dünne, rasch auskeilende Linse, manchmal aber läßt er einen charakteristischen Horizont über weite Flächen verfolgen.

Würde dieser Pelit überall in seiner ursprünglichen Beschaffenheit abgelagert, so könnte man an seinen chemischen und seinen physikalischen Eigenschaften den geologischen Zeitraum, in dem er gebildet wurde, sofort bestimmen. Denn in jedem Zeitraum muß die Zusammensetzung der Lufttrübe in der Atmosphäre eine andere gewesen sein.

Bald wird der Pelit ungeschichtet abgelagert, und dieses Gefüge verdankt er seiner gleichkörnigen Saigerung in der Luft, bald wird er durch dünne Zwischenschichten organischer, chemischer oder grobkörniger Sedimente gegliedert.

Aber die Feinkörnigkeit bedingt, daß die klimatischen Umstände des Ablagerungsortes rasch seine ursprünglichen äolischen Eigenschaften verändern. Das nivale Klima verwandelt ihn in anderer Weise, wie das aride, und die flachen Buchten des Meeresstrandes prägen ihm andere Eigenschaften auf, wie die pflanzenreiche Flachsee oder die pflanzenleere Tiefsee.

Andere Bestandteile mischen sich mit dem Luftstaub, und so ist er im Aschengehalt der Kohlen, im Lösungsrückstand organischer Kalke, im Tongehalt der Sandsteine wieder zu finden.

Dieses bunte Bild der in jeder Periode der Erdgeschichte abgelagerten anorganischen Staubtrümmer wird aber verändert und faziell zerlegt durch die ihnen beigemengten organischen Bestandteile, die als ungeformte organische Massen oder geformte Fossilien unterschieden werden können.

1. Die beim Zerfall aller Organismen entstehenden tierischen Sapropele und pflanzlichen Modermassen bilden in allen vom Leben erreichten Bildungsräumen ein wesentliches Element der Gesteine. Man braucht nur ein Gefäß mit Teichschlamm, Flußschlamm, Moorbrei, Wattenschlick oder Meeresschlamm wenige Tage, gegen neue Keime geschützt, sich selbst zu überlassen, um darin eine Fülle von chemischen Vorgängen zu beobachten, die als Verwesung und Fäulnis unterschieden werden.

Ich habe oft die Wasserzirkulation in kleineren und größeren, mit Pflanzen und Tieren besetzten Seewasseraquarien für einige Tage unterbrochen und immer wieder gestaunt über die vielartigen Veränderungen, die in dem Sediment und an den darauf oder darin lebenden Tieren beobachtet werden konnten.

Die jeweilige Oberschicht des Meeresbodens ist stets von Lebewesen durchwühlt und besiedelt, außerdem lagern sich alle in dem darüberstehenden Wasser sterbenden Wesen darauf ab — und wenn wir jede Schichtenfolge als eine ununterbrochene Reihe solcher belebter und mit den Produkten des Lebens durchsetzter Lockerschichten ansehen, erkennen wir in den meisten späteren diagenetischen Veränderungen die letzten Wirkungen solcher biologischer und nekrologischer Vorgänge.

Wenn wir uns nun klar machen, daß alle diese Abfallprodukte des Lebens von den in verschiedenen Zeiten sich beständig morphologisch ändernden Organismen herrühren, und daß mit einer Änderung ihrer

Organe stets eine Änderung der Funktionen verknüpft war — so ergibt sich bei einer erdgeschichtlichen Betrachtung der gesamten Schichtenfolge, daß *in jeder Periode andere chemischen Abfallprodukte* des *Lebens* den Sedimenten beigemengt werden und *andere diagenetische Wirkungen* hervorrufen mußten.

2) Diesen ungeformten und meist nur an ihren diagenetischen Wirkungen erkennbaren Dokumenten des vorzeitlichen Lebens stehen die geformten Hartgebilde desselben Lebens, die uns die *Fossilien* vor Augen führen, scharf gegenüber.

Aber jeder sammelnde Geologe weiß, daß zwischen einem, nur aus fossilen Schalen oder Knochen bestehenden „organischen Gestein" und einer „bituminösen" fossilleeren Schicht alle Übergänge bestehen.

Die erhaltenen und gut bestimmbaren Fossilien geben uns Zeugnis von dem beständigen *Formenwechsel*, der in der Mehrzahl der Fälle auf einer Veränderung der Organe und ihrer Stützapparate beruht. Von dieser rein morphologischen Betrachtung aber ist nur ein Schritt zu der Überzeugung, daß jede Organänderung mit einer *Änderung seiner physiologischen Funktion* untrennbar verbunden ist.

So verwandelt sich das Leben vor unsern Augen in eine fortlaufende Kette von beständig wechselnden *chemischen Stoffwechselvorgängen*, die in gleichem Schritt und gleichsinnig auch *die Sedimente verändern* mußten, auf denen jene Organismen lebten und starben.

Wenn wir uns hier zunächst auf eine Diskussion der marinen Lebewelt beschränken, so müssen wir nochmals hervorheben, daß zwar die allgemeinen Faziesbedingungen der Gesteine in allen Perioden der Erdgeschichte immer wiederkehren, daß also nur gewisse *pelitische Ablagerungen* als Leitgesteine verwendet werden können, daß aber die große Mehrzahl der in ihnen eingeschlossenen marinen Fossilien einen *beständigen irreversiblen Artwechsel ohne variierende Übergänge beobachten lassen*.

Die praktische Arbeit der gliedernden und kartierenden Geologen hat in allen Ländern der Erde unter der Fülle der mit *verschiedener Lebensdauer* sich folgenden Arten solche herausgefunden, die bei kurzer Lebensdauer doch horizontal weit verbreitet waren und sie als *Leitfossilien* besonders hervorgehoben. Ihre chronologische Bedeutung als Grenzsteine in der Geschichte des Lebens bedarf keiner nochmaligen Erörterung. Auch die Tatsache, daß diese gliedernden Fossilien nicht variierende Reihen bilden, sondern mit scharf gesonderten Arten übereinander auftreten, also nacheinander erscheinen, harmoniert mit der allgemeinen Tatsache des Formenwechsels mariner Tiere.

Aber wenn wir uns fragen, weshalb diese in kurzen Zeitabschnitten einander folgenden Arten jeweils horizontal weit verbreitet waren, tritt uns ein Problem von größter Tragweite entgegen. Wir haben es schon

mehrfach behandelt und kommen zu dem Schluß, daß alle guten Leitfossilien aus Tiergruppen stammen, deren Hartgebilde während des Lebens oder nach dem Tode passiv weit verbreitet wurden.

Eine „freischwimmende" Lebensweise der Goniatiten, Ammoniten oder Belemniten genügt nicht, um die weltweite Verbreitung ihrer Schalen zu erklären, denn die Nektontiere der Gegenwart werden durch thermische Schranken und planktonische Nahrung ebenso auf enge Lebensbezirke beschränkt, wie die benthonischen Lebewesen durch die Fazies des Untergrundes.

Das Weltmeer zerfällt in eine Anzahl Regionen oder Lebensbezirke, die sich sowohl mit Rücksicht auf ihre Sedimente, wie auf ihre Organismenwelt sehr verschieden verhalten. Gegenüber der sonst allgemein üblichen tier- und pflanzengeographischen Einteilung des irdischen Lebens in Regionen und Subregionen, stellten wir im Jahre 1893 den Begriff der Lebensbezirke auf, um nicht so sehr die ozeanographisch oder festländisch abgegrenzten Flächen, sondern die, von denselben bionomischen Umständen beherrschten Lebensräume zu kennzeichnen.

Bei einer geologischen Einstellung, wo die bleibenden Wirkungen höher bewertet werden müssen, als die flüchtigen Erscheinungen des Einzelvorgangs uud wo nur die allgemeinen Zusammenhänge zwischen Leben und Umwelt eine bestimmende Rolle spielen dürfen, konnten wir sechs Lebensbezirke unterscheiden: Litoral, Ästuarien, Flachsee, Archipele, Hochsee und Tiefsee.

1. Wir stellen den Lebensbezirk der Flachsee in den Vordergrund, weil die lithogenetischen und bionomischen Erscheinungen des Meeres hier am deutlichsten zur Geltung kommen. Das Wasser ist von mäßiger Tiefe und wird von den Sonnenstrahlen, wenn auch in abnehmender Stärke, durchleuchtet, so daß überall autotrophe Pflanzen und Tiere gedeihen und dadurch auch das heterotrophe Tierleben besonders formenreich wird. Die Oberschichten des Flachseewassers werden von Wellen und Strömungen beständig durchmischt, nährende Pflanzenteile und sterbende Tiere sinken in die Tiefe und aufsteigende Kompensationsströmungen ersetzen das dort stagnierende Wasser.

Festsitzende Grünalgen, kalkabscheidende Florideen und Korallenriffe bilden geschlossene Siedlungen, zwischen denen Scharen von Pflanzenfressern leben. Herbivore Schnecken und aasfressende Krebstiere sind für diese Regionen ebenso bezeichnend wie Spongienrasen, individuenreiche Muschelbänke, bewachsene Krinoidenfluren und die zwischen ihnen sich nährenden Fischschwärme.

Obwohl jede dieser Gruppen dauernd oder vorübergehend zur Ansammlung vieler Personen führt, so wird doch der Fossilreichtum einer Flachseeablagerung durch die überall bemerkbaren Wasserbewegungen

gesteigert, die alle herumliegenden Hartgebilde verlagert und an bestimmten Stellen zusammenhäuft. Hier entstehen nicht nur jene nach der Schwere geordneten Säume, die das Litoralgebiet kennzeichnen, sondern mitten zwischen verhältnismäßig fossilarmen Schichten sehen wir die Hartgebilde auf einstigen Untiefen zu organischen Linsen vereinigt.

Die Sedimente einmündender Flüsse, die Halistasen stiller Buchten, die Wellenbewegung über flachen Untiefen und die Verbreitung des Sonnenlichtes gliedern die Sedimente der Flachseegründe und bedingen jene Mannigfaltigkeit der Fazies, die ihrerseits wieder die Verbreitung des Lebens regelt.

Aber der Fazieswechsel bedingt in der Zeit eine beständige Verschiebung der Lebensgenossenschaften und schafft immer neue Umstände, die in der Schichtenfolge jedes Flachseeprofils leicht überschaut werden können. Wenn wir erwägen, daß zugleich die Schwebewelt der Hochsee überall verbreitet wird, so daß zwischen benthonischen Kalkalgen und Schnecken die kleinen Gehäuse planktonischer Foraminiferen eingestreut sind, so verstehen wir die große paläontologische Bedeutung dieser Region.

Bei stabilem Untergrund wird ein Flachseebecken bis zum Rande zugefüllt, denn der Schlamm der Flüsse, die Sande der nahen Wüste, die Abrasionsprodukte der Küste, die organischen Kalke und der eingewehte Staub wachsen hier zu gleich hohen Profilen. Aber bei sinkendem Untergrund in großen Sammelmulden kann die Überlagerung der Flachseesedimente zur Bildung von riesigen Schichtenfolgen führen, deren Mächtigkeit nur von der Fortdauer der Senkung bestimmt wird.

2. Über der Flachsee breiten sich die Fluten der Hochsee aus, die seewärts an Mächtigkeit zunehmend, sich endlich in dem gewaltigen Wasserkörper des Weltmeers verlieren. Die Hochsee ist das Reich der Urnahrung des Ozeans. Wo es in reinem Dunkelblau auftritt, breiten sich leblose Wasserwüsten, aber dazwischen treffen wir die unermeßlichen Schwärme kleiner autotropher Planktonwesen, die meist hüllenlos oder nur mit zarten Horn- und Kieselskeletten umkleidet, das Wasser grün oder gelblich verfärben. Hier schweben die zarten Medusen, Siphonophoren und Ctenophoren, hier ziehen die gewaltigen Fischschwärme und durchsieben das Wasser, Kopf an Kopf gedrängt, mit ihren Kiemenreußen nach zarter Planktonnahrung. Hier treiben die meroplanktonischen Larven, die zum großen Teil durch Fische vernichtet werden, während andere Schwärme nach tagelanger Wanderung die ihnen zusagenden Faziesbedingungen finden und sich am Meeresgrund niederlassen. Hier jagen die marin gewordenen Reptilien und Säugetiere vom Ichthyosaurus, Hainosaurus bis zum Delphin und Wal.

Aber die meisten Hochseetiere besitzen zarte vergängliche Hartgebilde und nur einzelne Formenkreise des Plankton und Nekroplankton

werden vom Litoral der Flachsee bis zu den Abgründen der Tiefsee eingefügt und können als Leitfossilien eine große Rolle spielen. Die Fusulinen, Alveolinen, Nummuliten und Globigerinen sind in dieser Richtung wichtig. Auch planktonisch gewordene Echinodermen, wie die kugeligen Echincystites oder Marsupites haben große Verbreitung.

Zu diesen Lebewesen der Hochsee kommen für den Geologen noch die passiv treibenden hydrostatischen Schalen der gekammerten Cephalopoden, die nach dem Tode ihres Wohntieres emporsteigen und als „gute Schwimm"-körper in alle Winkel und Buchten, sowie alle Tiefen des Weltmeeres gelangen können.

So projiziert sich die Hochsee, obwohl sie selbst keine geologischen Überreste erzeugt, auf die Sedimente des Litoral, der Flachsee, der Archipele und Untiefen, sowie die Abgründe der Tiefsee, und stellt den sammelnden Geologen vor schwierige Aufgaben der Analyse.

3. Tektonische Bewegungen der Lithosphäre, starke Sedimentbildung oder vulkanische Eruptionen erzeugen mitten in der weiten Fläche der Hochsee Untiefen, die zuletzt als Archipel über den Wasserspiegel heraustreten können. Sie sind zwar vergänglich und werden rasch durch Abtragung, Senkung des Untergrundes oder vulkanische Hebung verwandelt, aber sie treten so oft in der Flachsee wie in tieferen Meeresgebieten auf, daß sie von dem beobachtenden Geologen bei der lithogenetischen Beurteilung größerer Schichtenfolgen und der bionomischen Analyse ihres Fossilgehalts stets berücksichtigt werden müssen.

Jede Untiefe trägt die Charaktere des Seichtwassers. Starke Wasserbewegung sondert die Sedimente und die Hartgebilde, reiches Sonnenlicht ernährt eine autotrophe Flora und ein reiches Tierleben. Benthonische Seichtwassertiere wie Korallen, Kalkalgen, Austern, Crinoiden bezeichnen plötzlich in einem Profil ganz anderer Lebensumstände und seitlich vermittelt eine rasche Wechsellagerung der Sedimente den Übergang zur anderen Fazies. Man darf in den oft ganz regellos verteilten Untiefen nicht Küstenlinien suchen: das Streichen der permischen Zechsteinriffe beruht nicht auf dem Verlauf alter Küstenlinien, sondern, wie v. Freyberg gezeigt hat, auf der Anordnung abradierter varistischer Felsenklippen.

4. Eine Sonderstellung unter den Lebensbezirken des Ozeans nimmt das Litoral ein, das Grenz- und Übergangsgebiet zum Festland. Man sollte meinen, daß hier ein beständiger Austausch zwischen der Wasser- und der Landwelt möglich und erdgeschichtlich erfolgt sei, aber wer die hier lebenden Organismen biologisch betrachtet, der erkennt immer wieder den scharfen Gegensatz beider Reiche. Zahlreiche Meerestiere dringen über die Elementargrenze hinaus, indem sie sich gegen die eintrocknende Wirkung der Luft durch hermetischen Abschluß oder starke Schleimbildung schützen, aber wo die letzten Spritzwellen der Brandung enden, da endet auch ihr Wohnraum. Andererseits dringen phanerogame

Seegräser und Mangroven ein Stück gegen die Salzflut herein. aber nur im seichten Wasser können sie gedeihen, und so sind es mehr topographische, wie bionomische Umstände, die ihre Verteilung regeln. Daß eine Anzahl mariner Krebse und manche Fische weit in die Flüsse und sogar aufs trockene Land wandern, ist ebenso wenig wunderbar. wie das wiederholte Eindringen festländischer Reptilien und Säugetiere in die beutereichen Jagdgebiete des Meeres.

Das Litoral bildet meist einen schmalen Saum, und über dem Wasserspiegel werden auf dem Strand die Reste von Tieren der Flachsee wie der Hochsee. gelegentlich sogar der Tiefsee als Treibkörper angehäuft, so daß hier. auf festländischem, nur vorübergehend vom Meer bedecktem Grund besonders reiche Ansammlungen von Tierleichen entstehen. Auch das Nekroplankton der passiv treibenden Nautiloiden, Goniatiten, Ammoniten und Belemniten, die Gehäuse von Fusulinen und Nummuliten werden von dem Wasser ans Ufer gespült und erfüllen die hier über dem Wasserspiegel gebildeten Schichten; manche berühmte Fundorte gehören in diese Region.

Damit wird es auch verständlich. daß das festländische Klima einen gewissen Einfluß auf die litoralen Ablagerungen hat. Trockenrisse und Fährtenabdrucke auf feinschlammigen Gesteinen, chemisch abgeschiedene Oolithe, diagonalgeschichtete kalkige oder kieselige Sandablagerungen, Kalkalgen und Korallen finden sich so nahe dem Wasserspiegel, daß sie bei einer geringfügigen Oszillation desselben aufs trockene Küstengebiet geraten und von den hier herrschenden klimatischen Umständen diagenetisch weiter verändert werden können.

5. Während das Litoral durch den Wasserspiegel trotz mancher Grenzüberschreitungen in einen von der Atmosphäre beherrschten Küstenteil und einen schmalen oder breiten amphibischen Strandteil gegliedert wird. spielen die Ästuarien als Eingangspforten der Wasserwelt in das Herz der Festländer eine erdgeschichtlich sehr wichtige Rolle. Besonders wenn wir uns daran erinnern, daß jedes Flußsystem durch eine Klimaänderung abflußlos werden und dann mit seinem gesamten Lebensinhalt dem Festland eingegliedert werden kann (Reliktensee), erscheinen die Ästuarien als die wichtigsten Verbindungen zwischen dem Reich der Hydropneusten und der Äropneusten. Ihre, so wechselvollen Schicksalen ausgelieferten Grenzbewohner mußten immer wieder bald dem Ozean, bald dem Binnenland angegliedert werden.

In der geologischen Literatur spielen untermeerische „Barren" oder andere topographische Höhengebiete eine große Rolle. weil man nach Analogie festländischer Erfahrungen glaubt, daß sie für die Verteilung der marinen Sedimente und ihres Fossilgehaltes ebenso wichtig seien, wie manche meridional streichenden Gebirge des Festlandes.

Aber diese Annahme beruht auf einem völligen Mißverstehen der unter dem Meeresspiegel herrschenden Verhältnisse. Jede Untiefe und jede bis in einen geringen Abstand vom Meeresspiegel aufragende Region ist ein Stück Flachsee, umgeben von Tiefenwasser. Da die meisten Meerestiere eine meroplanktonische Jugendzeit durchleben, während deren sie zur Fauna der Hochsee gehören, bildet jede Untiefe eine Brücke von der einen Küste zur anderen. Niemals kann eine untermeerische „Barre“ die Organismenwelt des Meeres trennen, vielmehr bildet sie das Sprungbrett für die Überschreitung riesiger Becken, und je zahlreicher Barren und Untiefen einen Meeresgrund gliedern, desto gleichmäßiger und einheitlicher ist die auf ihm lebende Flachseefauna.

6. Der in der geologischen Literatur am meisten besprochene Lebensbezirk ist die Tiefsee, aber gerade über deren Kennzeichen herrschen manche Irrtümer.

Die Tiefsee ist der Boden des tiefen Wassers und im Gegensatz zur diaphanen Flachsee wird sie von den Wärme- und Luftstrahlen der Sonne nicht erreicht. Infolgedessen hat die Tiefsee keine Klimazonen und kein autotrophes Pflanzenleben. Daher ist das Tierleben der Tiefsee ökonomisch abhängig von den biologischen Vorgängen in den Regionen der Hochsee und der Flachsee.

Das Wasser der Tiefsee ist fast bewegungslos, nur kaum merkliche Sinkströme durchgleiten ihre Räume. Daher fehlen die tierischen Hartgebilde, welche die Organismen der Flachsee ausscheiden und die dann in die dort gebildeten Sedimente eingeschlossen werden. Die Tiefsee ist der Lebensbezirk der „Weichtiere“, der Raubtiere, der Schlammfresser und der Aasfresser, die von den Abfallstoffen des organischen Stoffwechsels leben.

Die Schalen der kieseligen Diatomeen oder Radiolarien, die kalkigen Coccolithen und Foraminiferen, Ostrakoden- und Pterodenschalen zerfallen leicht in einen zarten Brei, der das verbreitetste Sediment der heutigen Tiefsee bildet. Aber noch weiter verbreitet ist heute der rote Feinschlamm, der, aus der Abtragung diluvialer Laterite entstanden, weite Flächen des Tiefseebodens bedeckt.

Ähnliche rote terrigene Ablagerungen könnte man vielleicht in den nach der algonkischen und der permokarbonischen Schneezeit gebildeten Meeresabsätzen erwarten. Aber wir haben mehrfach darauf hingewiesen, daß in der Altzeit noch keine Tiefsee existiert haben kann, und daß die heutigen großen geschlossenen abyssalen Becken erst am Schluß der Mittelzeit ausgebildet worden sind. Das macht das Fehlen aller eigentlichen Tiefseeablagerungen in den älteren Formationen verständlich.

Würden uns in irgend einem älteren Schichtprofil abyssale Ablagerungen erhalten sein, so müßten solche als weltweiter, lithologisch und faunistisch völlig gleichartiger Leit-Horizont von einem Kontinent zum

andern verfolgt werden können. Das vollkommene Fehlen solcher kosmopolitischer Einlagerungen in allen Schichtenfolgen beweist zur Genüge, daß uns aus der älteren geologischen Vergangenheit nirgends eigentliche Tiefseeablagerungen bekannt sind.

Wenn wir den Einfluß, den das atmosphärische Klima auf die Wasserwelt ausübt, kritisch betrachten, so erkennen wir zunächst, daß es unmöglich ist, mit marinen Sedimenten und marinen Fossilien ehemalige Klimagebiete zu kennzeichnen. Alle solche Versuche beruhen auf einem bionomischen Irrtum. Sehen wir doch in den rezenten Meeren überall, daß die Flachsee nur von der topographischen Gestalt der Kontinente bestimmt wird und daß die Nord-Süd gerichteten Küsten von ganz verschiedenen Faunen bewohnt werden, während alle Ost-West streichenden Küsten eine einheitliche Lebewelt erkennen lassen.

Aber in einer ganz andern Richtung wird die marine Wasserwelt vom festländischen Klima beeinflußt — denn kaltes Wasser ist schwer und muß in die Tiefe sinken. Die Kraft dieser vertikalen Strömungen äußert sich weniger in meßbaren Bewegungen des Meeres, als in der eigenartigen Temperaturverteilung seines Wassers. Denn jedes einzelne Becken sammelt an seinem Boden die kältesten Wassermassen, die in seinem Flächengebiet durch tiefe Wintertemperaturen entstehen.

So kommt es, daß überall die heutige Tiefsee niedrige Temperaturen, oft unter 0° zeigt und daß hierdurch jene gleichartigen Lebensbedingungen geschaffen werden, die andererseits die weltweite Verbreitung der Tiefseefauna bedingen. Je größer die unter dem Einfluß kalter Klimate stehende Oberfläche eines Meeres ist, desto gleichartiger wird ihr Bodenklima und desto weiter verbreitet sich ihre Bodenfauna.

Solange die Wassermassen der Erde in die Urseen der präkambrischen Perioden zerlegt waren, mußte jedes dieser Becken ein anderes Bodenklima gehabt haben, und da auch der Salzgehalt ebenso verschieden war, mögen damals ganz verschiedene Synusien in den einzelnen Becken gelebt haben.

Seit der Entstehung des universellen Weltmeeres während der kambrischen Periode änderten sich diese Umstände grundsätzlich und seither ist dadurch auch die monophyletische Weiterentwicklung aller Tierstämme als Ausdruck einer fortlaufenden bionomischen Umwelt deutlich erkennbar.

Aber wenn in antinomen Perioden der Kreislauf des Wassers innerhalb der Atmosphäre durch stärkere Verdunstung auf den tropischen Meeren rascher, die Stärke der Schneefälle in den nivalen Regionen größer, die Temperaturgegensätze in der Atmosphäre gesteigert und damit auch die Meeresströmungen schneller waren, mußten sich diese meteorologischen Zustände auch im Stoffwechsel des Meeres äußern. Größere Massen von Schneeschmelze, stärkere Eisbergtrift und ausgedehnte Abkühlung der polaren Flachsee mußten eine stärkere Vertikalzirku-

lation des Weltmeers veranlassen und dadurch biologische Wirkungen auslösen, die wir in einem späteren Abschnitt noch schildern werden.

Zur Hydrosphäre gehört aber nicht allein das Meer, sondern ebenso alle Wasser, die in festem oder flüssigem Zustand das Festland bedecken. Unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen verdunsten große Wassermengen, werden durch Luftströmungen über Länder und Meere getragen und sinken als Schnee oder Regen herab, um dem Meere wieder zuzueilen.

Die solaren Klimagürtel ändern diesen Kreislauf der Vadose in dreifacher Weise und schaffen dadurch für die Lebewelt verschiedene Bedingungen:

1. Der nivale Kreislauf speichert auf dem Festland so große Mengen von Schnee, die, in Eis verwandelt, bis zur Küste vordringen, daß Flüsse und Seen fast unbelebt sind und auch das Litoral des Meeres durch breite bewegliche Packeisgürtel für die Ansiedlung des Lebens ungeeignet wird. Aber das offene Meer und die Flachsee werden durch Kälte und Schnee nicht beeinflußt, denn eine unübersehbare Menge planktonischer, nektonischer und benthonischer Wesen erfüllt das kalte Wasser der Polarmeere, dessen Lebensfülle in grellem Gegensatz zu der Lebensarmut des Festlandes steht. Nur am Rand der Gletscher und der im Sommer abschmelzenden Schneedecken gedeiht auch hier eine periodisch aufblühende Flora und Fauna.

2. Der zum Meere abfließende Kreislauf der humiden und pluvialen Zone schafft an den Küsten des Meeres jene ausgedehnten Brackwassergebiete, die von einer artenarmen, aber oft sehr personenreichen Flora und Fauna bewohnt wird. Als Ästuarium dringt das halb ausgesüßte Wasser tief in die Flußmündungen hinein und bildet die Eingangspforte für solche marine Organismen, die sich an die dauernd salzfreien limnischen Gewässer anpassen. Brackische Nebenmeere und flache Buchten werden zum Schauplatz eines beständigen Faunenwechsels mariner, brackischer und limnischer Formenkreise, die meist in Wechsellagerung übereinander auftreten. Die paralischen Steinkohlenflöze sind ein gutes Beispiel solcher beständigen Veränderungen im Salzgehalt. Aber es muß hervorgehoben werden, daß die passive Trift leerer Goniatitenschalen oder planktonischer Fusulinen leicht zu Mißverständnissen über den Salzgehalt des umgebenden Wassers führen.

   Die periodische oder episodische Verminderung im Salzgehalt großer tropischer Flüsse setzt sich innerhalb der regenreichen Tropenzone auch auf das nahe Meer fort, wo die gewaltigen Regengüsse täglich die Oberschicht verdünnen und, da das leichte Süßwasser oben schwimmt, bei Windstille eine solche Änderung des Meerwassers bedingen, daß der Reisende durch die Tierarmut tropischer Meere immer wieder über-

rascht wird. Erst aus einiger Tiefe bringt das Planktonnetz die reichen Tierschwärme herauf, die nachts emporsteigen und mit ihrem phosphoreszierenden Schimmer die Wasseroberfläche schmücken.

So werden die Meere der regenreichen Tropenzone den brakischen Mündungsgebieten großer Flüsse überaus ähnlich, und es ist nicht verwunderlich, wenn unter diesen Umständen viele Meerestiere gerade hier in das Reich der limnischen Süßwassertiere eindringen.

Obwohl die festländischen Seen und Flusse der Wasserwelt ein vielgestaltiges Wohngebiet zur Verfügung stellen, so lehrt doch die Paläontologie, daß nur einmal eine Besiedelung des Binnenlandes erfolgt ist. Die im Devon auf das Festland steigenden Pflanzen- und Tiergruppen haben sich seitdem wohl vielfach differenziert, aber es ist in der Folgezeit keine weitere Klasse hinzugekommen, obwohl es immer große Flüsse und große Brackwasserbuchten gegeben hat. Wir haben die damit verknüpfte Frage mehrfach behandelt und darauf hingewiesen, daß besondere geologische Umstände zusammenkommen mußten, um die vorher unter dem Wasserspiegel lebende, gelösten Sauerstoff atmende, Wasserwelt zu einer so grundsätzlich neuen Lebensfunktion, wie es die Luftatmung ist, zu zwingen.

Die Fauna des Karbon bietet uns zahlreiche Beispiele der großen Mannigfaltigkeit, die das Leben an der Schwelle zwischen Salz- und Süßwasser annimmt. Neben den von Ostrakoden und Phyllopoden erfüllten Schichten sind es besonders die mit den Kohlen wechsellagernden Sedimente, deren Fauna uns so manche biologische Rätsel aufgiebt. Hier begegnen uns Muscheln, Krebse, Tausendfüßler, Skorpione, Insekten, Fische und Amphibien in buntem Gemisch.

Die oft sehr zahlreichen Süßwassermuscheln zeigen merkwürdige geographische Verschiedenheiten. Im Ural sind die Arten meist klein, in Südrußland und Westeuropa werden sie größer. Die in den SaarbrückenerSchichten Westdeutschlands auftretende Anthracosia Weißiana verwandelt sich in der folgenden Periode der Ottweiler Schichten in A. Goldfußiana, und diese Art läßt sich dann bis in die hangenden rotliegenden Schichten verfolgen.

In den karbonischen Reliktenseen finden wir auch die letzten Vertreter des einst so weitverbreiteten Trilobitenstammes. Von Proëtus zweigen sich jetzt Dechenella und Phillipsia ab und bewahren dieselben Artencharaktere durch ganz Deutschland. Daneben leben seltsam abweichende Formen, wie Arthropleura, die, wie es scheint, den Übergang zu den Isopoden vermittelt; das breite Rückenschild läßt deutliche Schreitbeine erkennen; für eine räuberische Lebensweise spricht ein im Leibe des Tieres gefundener Insektenflügel. Sehr interessant ist es, daß Eurypterus, sowie die verwandten Gattungen Belinurus,

Prestwichia u. a. mitten zwischen den Steinkohlenpflanzen lebten. Die karbonischen Formen sind allerdings meist klein, lebten aber gesellig, so daß man bei Beaver City (Pensylvanien) 20 Exemplare zwischen kohlenreichen Schiefertonen fand. Von E. Imhoffi finden sich bei Pilsen sehende, bei Saarbrücken blinde Exemplare. Wahrscheinlich waren die blinden Arten während ihres Lebens ebenso im Schlamm vergraben, wie der Regenwurm in feuchter Erde lebt.

3. Eine besondere Rolle in der Geschichte des Wasserlebens hat immer der aride Kreislauf der abflußlosen Gebiete gespielt. Denn auf seinem bald kürzeren, bald längeren Weg vom reinen Regenwasser bis zum Salzsee ändert sich beständig oder rhythmisch die Konzentration der Lösungen und damit die Möglichkeit einer Besiedelung durch die Wasserwelt. Stärker als bei der limnischen ist somit die Selektion der salinen Fauna, und nur wenige euryhaline Wasserorganismen sind imstande, unter solchen Umständen zu leben und sich zu vermehren. Auch die Besiedelung eines Endsees kann nur über die Wasserscheide seines Quellgebietes oder durch den Wind erfolgen, und so sind solche Binnenseen bald völlig leblos, bald mit einer individuenreichen Fauna erfüllt, und es entstehen an seinem Boden mächtige Ablagerungen, in denen chemische Niederschläge oder bunte Tone ohne jeden organischen Rest vorwiegen, bis eine dünne Zwischenschicht, erfüllt mit einer Spezies oder wenigen Arten die vorübergehende Besiedelung des Binnensees anzeigt.

Aber jeder größere Binnensee kann gelegentlich auch mit dem Meere verbunden werden, wenn die ihm zuströmenden Flüsse einen besonders wasserreichen „Unterlauf“ bis zur Küste bilden. Dann strömt in der Flußrinne salziges Wasser nach der Salzflut des Meeres und in solchen kurzen Episoden ist es möglich, daß auch stenohaline Meerestiere bis zum fernen Binnensee gelangen. Die Bedeutung solcher Wanderwege für die Besiedelung des devonischen Festlandes wurde mehrfach geschildert.

Auch das Eindringen des Limulus Decheni in die tertiären Braunkohlensümpfe hängt wohl mit einer vorübergehenden Versalzung von deren Abwässern zusammen, die wir durch aufsteigende Soolquellen aus dem Liegenden der Kohlenflöze erklären möchten.

Für eine Betrachtung fossiler Faunen ist es aber gut, innerhalb des Meerwassers noch einen Unterschied zu machen. Denn da, wo in einem halb geschlossenen Nebenmeer durch das Einströmen großer Flüsse brackische Wassergebiete, durch den Wechsel der Küstenlinie und den Einfluß des Landes eine große Mannigfaltigkeit der bionomischen Bedingungen entsteht, finden wir eine ganz anders zusammengesetzte Tierwelt, als am Boden des offenen, freien, ungeteilten Ozeans. Mit Dana

nennen wir diese Regionen thalassisch[1]) und wollen sie den ozeanischen Bildungen gegenüberstellen.

Die thalassischen Ablagerungen und Synusien haben große Ähnlichkeit mit denen der Flußmündungen und Ästuarien. Denn der beständige Wechsel der Gezeiten und der unperiodische Eintritt des vom Oberlauf des Flusses kommenden Hochwassers oder der von der Seeseite eintretenden Sturmfluten beeinflussen in häufiger Wiederholung den Aufbau, wie den Fossilgehalt einer hier gebildeten Schichtenfolge.

Bei der Beurteilung einer fossilen Lebewelt in gut geschichteten Gesteinen erheben sich große Schwierigkeiten, die darauf beruhen, daß horizontale, konkordante Schichtung zwar nur unter Wasserbedeckung entsteht, daß aber die chemische Beschaffenheit sowie die Tiefe und Dauer der darüber stehenden Wasserschicht die Existenz einer ganz verschiedenen Organismenwelt bedingt.

1. Der normale Fall, an den wir stets zunächst denken werden, der aber keineswegs jedem Profil entspricht, ist die Bildung einer geschichteten, fossilführenden Ablagerung am Boden des ozeanischen Meeres. Sie wird im günstigsten Fall ein durch Reste von Meerespflanzen bituminös gefärbtes Sediment und darin nicht nur eine artenreiche Bodenfauna, sondern auch zahlreiche planktonische, nektonische und nekroplanktonische Fossilien enthalten, die aus dem darüber stehenden Wasser zum Meeresboden herabgefallen sind.

2. Ebenso gut geschichtet wird aber auch die Ablagerung sein, die am Boden eines thalassischen Nebenmeeres entstand, in deren Oberschicht durch das einströmende Süßwasser großer Flüsse die Pflanzenreste des Landes, sowie die Fische und Krebse des Flußwassers auftreten, während am Boden des Beckens im salzreicheren Wasser die artenreiche Meeresfauna lebte und mit jenen, ihrem Lebensraum eigentlich fremden Organismen gemischt, den Fossilgehalt des dort entstehenden Gesteins bestimmen.

3. Mit allmählichen Übergängen und in wiederholter Wechsellagerung mit jenen thalassischen Ablagerungen treten nun im Unterlauf großer Flüsse, also in der humiden und pluvialen Klimazone, weite Seebecken, Haffe oder Sümpfe auf, worin gut geschichtete, meist bituminös gefärbte Schichten entstehen, in denen eine endemische Brack- oder Süßwasserfauna meist artenarm, aber sehr personenreich eingebettet ist. Eine solche Ablagerung entspricht dem „Delta" des Flusses, aber man darf hier nicht jene unregelmäßige oder schuttkegelartige Schichtung erwarten, die für die meisten Geologen mit dem Begriff eines Deltas verknüpft

1) Bei den Griechen hieß nicht der Okeanos, sondern das halbausgesüßte Binnenmeer des Pontus „Thalatta". Es ist daher sprachlich falsch, eine marine Schichtenfolge als „thalattokratisch" den „geokratischen" Bildungszeiten gegenüberzustellen.

ist. Vielmehr sind die Ablagerungen aller Mündungsgebiete großer Flüsse horizontal wohlgeschichtet und enthalten die personenreichen Faunen des brakischen Wassers, vermischt mit den hereingedrungenen Pionieren des Meeres und den herausgetragenen Leichen der binnenländischen Fauna. Gelegentlich werden darin marine Nektontiere, Haie, Schildkröten, Delphine (oder Ichthyosaurier?), sowie die treibenden Schalen nekroplanktonischer Cephalopoden, sowie die Reste von planktonischen Radiolarien oder Foraminiferen, vielleicht auch Hyolithen und Tentakuliten in dünnen Zwischenschichten eingestreut sein. Bisweilen werden Ablagerungen von bituminösen Faulschlammen oder kohligen Moorablagerungen eingeschaltet.

4. Wenn aber die Ablagerung in einem ariden Wüstengebiet unter dem Spiegel eines salzigen Endsees entstand, wird sein wohlgeschichtetes Gefüge auch an marine Vorkommnisse erinnern, und die artenarme Fauna des Salzsees, der, vielleicht im Litoralgebiet gelegen, durch transgredierende Einbrüche des Meeres überflutet wurde, wird mit marinen Schichten wechsellagern. Die meist fossilleeren oder nur durch eine artenarme Fauna belebten Gesteine solcher Wüstensenken können große Mächtigkeit erreichen. Sie werden auch gelegentlich verkieseltes Holz und die Knochen von Wüstenbewohnern enthalten, aber dennoch wird man ihren Bildungsraum zum Festland rechnen müssen.

5. Dies gilt nun am klarsten für solche Ablagerungen, die in den Trockenseen einer Wüste entstanden sind. Denn die jedem Wüstenreisenden auffallenden und durch zahllose Reisebeschreibungen genügend bekannten, mit salzigen Tonböden, dürren Salzseen, durch dünne, oberflächlich gekräuselte Sandebenen, oder durch Lehmdecken von Kieseln ausgeglichenen Kieswüsten, sind in vielen Fällen tiefe Wannen, die mit mächtigen wohlgeschichteten Trümmergesteinen, oft auch wechsellagernd mit chemischen Niederschlägen oder mit dünnen fossilreichen Zwischenschichten erfüllt wurden.

Sie fallen dem Geologen zunächst durch ihre ausgezeichnete Schichtung und den lokalen Fossilgehalt auf; und neben den Bewohnern einzelner Oasen finden wir ganze Generationen von Wassertieren, obwohl es sich um eine Ablagerung handelt, die vielleicht fern von einer Küste entstanden ist. Solche, gerade in deutschen Profilen so oft auftretenden Schichtenfolgen sind meist für marin gehalten worden und haben das Bild jener Perioden entstellt. Auch die durch die eigenartige Auslese des Wüstenklimas bedingte Verteilung von Wasser- und Landtieren hat eine unnatürliche Deutung erfahren.

So werden also fünf klimatologisch, lithogenetisch und bionomisch grundverschiedene Bildungsräume auf den paläographischen Karten zusammengefaßt, weil in ihnen geschichtete Ablagerungen entstehen und weil sie die Reste von Wassertieren enthalten, obwohl ihr Fossilgehalt

und ihre Fazies auf ganz verschiedene Bedingungen schließen lassen sollte. Wenn man solche Faunen in eine rein marine Faunenfolge phyletisch einordnet, so ergeben sich Trugschlüsse von verhängnisvoller Wirkung und ein Bild erdgeschichtlicher Vorgänge, das durch seine scheinbare Einfachheit den tatsächlichen Ereignissen nicht gerecht werden kann.

Dem Paläontologen bietet aber nicht nur das Nebeneinander der mit verschiedenen Faunen und Floren erfüllten, gleichzeitig gebildeten Ablagerungen eine Fülle von Problemen, sondern fast immer wieder wird diese Fragestellung verwickelt durch den Wechsel der übereinanderliegenden Gesteine und Faunen.

Jede neuentstehende Ablagerung ist die Folgeerscheinung eines bestimmten, vorher herrschenden lithogenetischen Klimas und das notwendige Produkt bestimmter äußerer Umstände. Solche sind: Bildung des Materials, Transport bis zum Ablagerungsort und Erhaltung der zugeführten Massen. Jede Ablagerung hat einen wohlumgrenzten Bildungsraum, innerhalb dessen sie entsteht, während außerhalb desselben entweder andere Fazies gebildet werden oder eine Denudationsfläche erzeugt wird. Jede gesteigerte Zufuhr wird, wenn es sich nicht um eine sinkende Sammelmulde handelt, die Grenzen der Fazies erweitern, jede Verminderung der Zufuhr verjüngt die Fläche, auf der sie ausgebreitet wird.

Diese Sätze erleiden manche Abweichung, wenn es sich um organische Bildungen oder vulkanische Aufschüttung handelt; doch gelten sie mit gewissen Einschränkungen auch hier.

In jeder größeren Schichtenreihe beobachten wir, wie sich Gesteine von verschiedener Mächtigkeit und verschiedenen Eigenschaften überlagern, sobald wir aber ein solches Gestein in demselben stratigraphischen Horizont seitlich weit verfolgen können, beobachten wir, wie es durch andere Fazies ersetzt wird.

Als Grundsatz für die Beurteilung der sich überlagernden Gesteine müssen wir in den Vordergrund stellen, daß sich nur solche Fazies überlagern können, die wir im heteropischen Verband auch nebeneinander finden, und wenn nicht alle gleichzeitig in demselben Faziesbezirk gebildeten Ablagerungen als Gesteine erhalten blieben, wird die Korrelation der Fazies uns befähigen, das verschwundene Gestein zu ergänzen.

Viele Geologen glauben in den Gesteinsfolgen einen regelmäßigen Rhythmus erkennen zu können und legen einen solchen auch dem Auftreten der darin eingeschlossenen Lebewelt zugrunde.

Ich habe diese Frage an zahllosen Schichtenfolgen in der Natur geprüft und bin zu der Überzeugung gekommen, daß eine solche Wiederkehr bestimmter Gesteine und Faunen bei kritischem Studium der wirklichen Profile nicht zu sehen ist. Wer sich allerdings damit begnügt, einzelne Hauptgesteine mit einem Wort zu bezeichnen und dann diese

theoretischen „Begriffe" schematisch vergleicht, der kann überall kleine oder große „Sedimentationsrhythmen" finden und auf solchen ein erdgeschichtliches System begründen.

Aber wer die Mächtigkeit der Gesteine dabei berücksichtigt, wer ihre lithologische und paläontologische Eigenart zu erkennen vermag, wer vom Liegenden zum Hangenden ebenso wie im Streichen den Fazieswechsel sorgfältig beachtet, der sieht immer wieder, daß keine Gesteinsfolge in derselben Weise wiederkehrt, und daß man das bunte Wechselspiel des natürlichen Geschehens nicht in eine starre Formel spannen darf.

Das Problem des Fazieswechsels wird dadurch verwickelt, daß durch die Bildung vieler Ablagerungen die lithologischen Umstände selbst verändert werden. Wenn ein steilwandiges Meeresbecken durch Trümmergesteine langsam erfüllt wird, dann werden zunächst feinere und gröbere Sedimente in dem ruhigen Tiefenwasser gemischt abgesetzt. Sobald aber die Ablagerung in die höheren Wasserregionen emporrückt, wird ihre Oberfläche bei jedem Sturm geschlemmt. Der gröbere Sand bleibt zurück, der feinere Ton bleibt in Schwebe und sinkt als nachträglich geschichtete Ablagerung wieder hinab.

Gleichzeitig beginnen auf dem vorher nur von Planktonresten überstreuten Meeresgrund benthonische Pflanzen zu wachsen, die ein reiches Tierleben dickschaliger Schnecken und Muscheln ermöglichen. Selbst wenn in dieses Becken ein Süßwasserstrom mündet, so schwimmt doch das leichte Wasser auf der Oberfläche und darunter lebt die marine Fauna in schwerem Salzwasser ruhig weiter. Wird das Becken aber noch weiter mit Sediment zugefüllt, dann macht sich in den obersten Schichten schon der Einfluß des Brackwassers geltend und endlich leben Süßwassermuscheln in den zuletzt gebildeten Schichten.

In ganz entsprechender Weise ändert sich der Fossilgehalt, die Schichtung und die Korngröße im Aufbau eines submarin entstehenden Vulkans und entsprechende Fälle bietet die Zufüllung abflußloser Binnenseen.

Eine zweite Ursache für einen kontinuierlichen Fazieswechsel bietet die Denudation und Ausräumung eines verwitterten Gebirges. Selbst wenn ein solches ursprünglich aus gleichartigem Schiefer bestand, so wird doch während der Faltung im Dach plutonischer Granite ein Kontakthof entstanden sein. Demgemäß werden die bei der Denudation des Gebirges nacheinander entstehenden und durch Flüsse in die Niederungen getragenen Sedimente zunächst infolge rascher Verwitterung des weichen Schiefermantels große Mengen feinkörnigen Schlammes, dann, bei der Abtragung des Kontakthofes, gröbere scharfkantige Trümmer liefern. Wenn aber endlich die Granitstöcke zutage treten, dann ergießt sich ein Strom von Quarzsand in alle nahen und fernen Sammelmulden.

Eine wichtige Rolle bei der Veränderung der Fazies spielt die Flora des Festlandes, die unter einem regenreichen Klima das ganze Land und seine Verwitterungsdecken mit dichtem Wurzelfilz überzieht und befestigt und dadurch die regionale Denudation vermindert. Aber eine kurze Klimaänderung, wobei vielleicht gar nicht die mittlere Regenmenge des Gebietes, sondern nur die Verteilung der Regentage auf eine kürzere oder längere Regenzeit wechselt, reicht hin, um die Flora zu zerstören, die Verwitterungsdecken beweglicher zu machen und überall in den Ablagerungsräumen einen Fazieswechsel zu bedingen.

Diese Schwierigkeiten mehren sich, wenn wir vom Festland der Küste durch das amphibische Schorrengebiet in die Süßwasserzone eindringen. Die Struktur kleiner Kies- und Sanddeltas an der Mündung alpiner Sturzbäche, in Alpenseen und die mit ihnen übereinstimmenden regellosen Schichten in fluvioglazialen Schmelzwassern, werden in der Regel als „Deltabildung" betrachtet und ein schematisches Bild derselben in vielen Lehrbüchern hat es verhindert, daß die ganz anders geartete Schichtung im Delta großer Ströme, die allein hier in Frage kommen, wiedererkannt wurde. Weitausgedehnte, völlig horizontale Schichtenfugen gliedern den feinen Schlamm jener marinen Delta in ebenflächige dünne Schichten.

Nur wenn ein tiefgründig zersetztes Gneis- und Granitgebiet oder das Sandmeer großer Wüsten durch einen Fluß ausgeräumt wurde, entstanden jene Deltasandsteine, die man nach den schematischen Bildern in weit verbreiteten Büchern erwartete. Sonst finden wir einen grauen Schlamm von ziemlich gleich feiner Korngröße oft stark mit Pflanzenmoder getränkt und mit den bei dessen Zersetzung entstehenden Gasen imprägniert. Bei Flut dringen die Salzwasser des Meeres tief in das Deltagebiet hinein, erfüllen Haffseen, und die mitgerissene marine Tierwelt wird durch Überflutung mit Süßwasser rasch wieder abgetötet. Das Pseudoplankton (Cephalopodenschalen, Graptolithen) kann bei Sturmflut weit flußaufwärts getragen werden und nektonische Haifische jagen viele Meilen weit von der Flußmündung nach den, zum Laichen in den Fluß eintretenden, Fischen. So entstehen mitten in einem Gebiet, das eine paläogeographische Karte zum Festland rechnen müßte, wohlgeschichtete Ablagerungen mit marinen Resten.

Im Nil- und Gangesdelta beobachtet man sogar oft kleine Sanddünen, die mit diagonaler Schichtung zwischen der normalen horizontalen Schichtung eingeschaltet sind.

Die braunen Farben des Verwitterungsschuttes der humiden Zone und die roten Töne pluvialer Verwitterungsdecken verschwinden, sobald sie unter Süßwasser oder Seewasser abgelagert werden, und sind durch weißgraue und gelbliche Töne in Grau und Blaugrau verwandelt. Bei der Fahrt durch den Vandimengolf in Nordaustralien, in den wasser-

reiche Flüsse ihren braunroten Lateritschlamm hineinschütten, konnte ich schrittweise verfolgen, wie das Sediment sich verfärbte. Daher gibt es nur wenige tropische Flußmündungen, an denen das Delta aus rötlichem Schlamm besteht.

Eigenartig ist das Delta der großen chinesischen Ströme, welche die riesigen Lößgebiete ausräumen und ausgedehnte Schichten von gelbem Meeresschlamm bilden.

Eine Besonderheit ist der Schlamm, der sich in der Umgebung von Küstenvulkanen bildet. Die feinen Aschen zersetzen sich rasch im Meerwasser und bilden feinsandige oder tonige Schichten, die große Mächtigkeit erreichen.

Auch die Küstenablagerungen der nivalen Region zeigen ihre Eigenart dadurch, daß Gletscherbäche und Eisberge den Meeresgrund rasch mit feinem Trümmermaterial bedeckten, dem gelegentlich gekritzte Findlinge eingeschaltet sind.

Im Gegensatz zu allen anderen Klimagebieten ist die aride Zone dadurch ausgezeichnet, daß nur wandernde Sanddünen oder windgetragener Staub in das nahe Meer hineindringt. Die Sanddünen bilden hierbei rundliche Sandbänke, die in der Tiefe wohlgeschichtet sind, während sie im Hangenden, wo sie aus dem Wasser ragten, diagonale Dünenstruktur zeigen. Zwischen den Sandbergen und Untiefen siedelt sich die Meeresfauna an, die beim Wandern der Sande leicht verschüttet und dann in isolierte artenreiche Fundorte inmitten eines fossilleeren Sandsteins verwandelt wird.

Die ariden Küsten sind aber auch die Stellen, wo die organischen Kalke der Korallenriffe in direkte Berührung mit dem Festland treten. Dem Beobachter, der an unseren deutschen Küsten zwischen Festland und Meer einen brakischen Wattensee, ein halbsüßes Haff oder die ausgesüßten Wasser der Ostsee eingeschaltet kennt, ist es geradezu überraschend, wenn er an der Sinaiküste die fossilreicheren Riffkalke und die rezenten Korallenriffe direkt neben den Steinfeldern der Kieswüste oder den Dünen der Sandwüste gebildet und gelagert sieht. Hier können geschichtete Oolithe aus Wüstenstaub entstehen, hier kann sogar fossilleerer Gips mit Salzton und zoogenem Kalk wechsellagern.

Wenn die Stärke der Ablagerung mariner anorganischer Trümmergesteine im wesentlichen von der Nähe der Küstenlinie abhängig ist, wobei die Tiefe des Wassers eine nebensächliche Rolle spielt, so ist die Intensität, mit der organische Kalke im Meere entstehen, eine biologische Frage und wesentlich abhängig von der Wassertiefe, gleichgültig ob die nahrungsreiche Region direkt neben dem Strande liegt oder in meilenweiter Entfernung von der Küste. Der Abstand vom Wasserspiegel entscheidet, ob die Sonnenstrahlen bis zum Meeresgrunde dringen und assimilierende Pflanzen Futter für die Fauna liefern.

Als eine ebenso wichtige Bedingung für das Gedeihen der Lebewelt müssen wir den Salzgehalt betrachten, der in den nivalen Gebieten durch das Schmelzwasser des Eises, in humiden und pluvialen Gegenden durch große Flüsse erniedrigt wird, wobei die kalkabscheidenden Organismen geschädigt werden. Wie anders wirkt die aride Wüstenküste, die durch ihre Flußarmut die Entfaltung eines reichen Tierlebens, direkt neben dem Strande, begünstigt.

Es ist ein prinzipieller Irrtum, wenn die Verbreitung reiner organischer Kalke als „pelagische" Erscheinung auf einen größeren Abstand von der Küste zurückgeführt wird. Denn in jedem flachen, von diaphanem Wasser bedeckten Meeresgebiet bilden sich reine Kalke ohne anorganische Beimengungen am Strand ebenso, wie in tausend Kilometer Entfernung, wenn nur das Festland regenarm ist.

Ihre höchste Entfaltung erreicht die Bildung organischer Kalke in den Korallenriffen, die mit ihrem von Kalkschlamm umgebenen Sockel heute ein Fünfundzwanzigstel des ganzen Meeresgrundes bedecken.

Wer Korallenriffe nur aus Beschreibungen oder flüchtigen Besuchen kennt, der wird zu der Meinung kommen, daß die mit wohlerhaltenen Riffkorallen bedeckten Flächen das Wesentliche einer solchen Ablagerung sind und wird demgemäß nur solche fossile Kalke als Korallenriffe ansehen wollen, in denen er überall bestimmbare Korallenkelche findet. Aber ebensowenig, wie wir von einer Fauna fossiler Wirbeltiere verlangen, daß ihre Körper mit allen Weichteilen erhalten und alle Knochen im ursprünglichen Verband nebeneinander liegen, wie wir kein Bedenken tragen, aus ein paar Zahnkronen das einstige Vorhandensein eines riesigen Tierleibes zu erschließen, so müssen wir unseren Blick nicht auf das lebende Korallenriff, sondern das absterbende Riff lenken. Wer das australische Barrierriff nicht nur vom Riffkanal aus, sondern an der Riffkante studiert und verfolgt hat, in welchem Flächenverhältnis die sogenannten Riffe, d. h. die mit lebenden Korallen bedeckten Flächen zu den korallenfreien, aber aus Korallen und den mit ihnen verbundenen kalkbildenden Organismen entstandenen Kalkbreschen, Kalksanden und Kalkschlammen stehen, der weiß, daß kaum ein Zehntel des Riffgebietes mit Riffkorallen überzogen ist, und daß der dazwischen liegende Meeresgrund, den uns jede Ankerprobe oder auch der Taucher emporbringt, aus ungeformten Kalkstücken besteht, an denen wir vergeblich nach Korallenkelchen suchen.

Wenn man außerdem beobachtet, wie rasch solche Kalkmassen diagenetisch verfestigt und verändert werden, dann wird man immer wieder in der Überzeugung bestärkt, daß man ein Kalkriff nicht auf Grund etwa vorhandener Korallenkelche bestimmen kann, sondern nur durch seine Lagerung.

Jede in ihrer Hauptmasse ungeschichtete, strukturlose Kalkablagerung. die linsenartig anorganischen oder vulkanischen Trümmergesteinen eingeschaltet ist, muß man als ein „Riff" betrachten. Wenn dasselbe außerdem von Höhlen durchzogen ist und durch Kalkzungen, die in die benachbarten Fazies hineingreifen, begrenzt wird, dann sind alle Eigenschaften vereint, die uns erkennen lassen, daß hier, sei es nah oder fern vom Strand, im flachen, normal gesalzenen reinen Seewasser ein biologisches Faunenoptimum festsitzender Tier-Stöcke existierte.

Wenn wir die Quelle der anorganischen marinen Trümmergesteine in den Deltas großer Flüsse oder den ausgeräumten Sandmeeren benachbarter Wüsten, also immer auf festländischem Boden; die Quelle organischer Kalke in der sonnigen Flachwasserzone des nicht verunreinigten Seewassers erblicken müssen —, so bieten uns die submarinen Vulkane eine dritte Quelle für marine Ablagerungen, deren Verteilung ebenso unabhängig von der Küste, wie von der Wassertiefe ist. Ein großer Teil der submarin ausbrechenden Aschen fällt als seewassergetränkter Brei oft fern von den vulkanischen Schlöten nieder und wird chemisch so verändert, daß wir in dem weit verbreiteten grauen oder bläulichen Schlamm den vulkanischen Ursprung kaum wieder erkennen. Viele paläozoische Schiefer mögen nichts andres sein, als solche umgewandelte marine Tuffe.

Über diese drei verschiedenen Elemente mariner Gesteine, die sich in der mannigfaltigsten Weise miteinander mischen können oder durch lokale Bedingungen unvermischt abgelagert werden, breiten sich wie ein zarter Schleier zwei Ablagerungen ganz andrer Herkunft. Einerseits die anorganischen Staubmengen, die überall auf dem Meere niederfallen, die in jedem Regentröpfchen enthalten sind und die der trockene Sturm bis in die Mitte der größten Meeresbecken trägt. Die Bedeutung dieser Deflationsprodukte für die marine Sedimentation, der ungeahnt große Anteil. den äolischer Staub an der Bildung von Meeresablagerungen aller Tiefen (vgl. Fig. 5 S. 520) nehmen. muß man immer wieder hervorheben.

Ebenso wie äolischer Staub sich überall mit den Absätzen des Meeres mischt, so sinken auch überall die zarten Kieselhüllen planktonischer Diatomeen und Radiolarien und die Kalkschälchen planktonischer Algen, Foraminiferen, Ostrakoden und Pteropoden zum Meeresgrund hinab. Viele werden wieder aufgelöst, besonders die zarten Schwebeapparate verschwinden und manche Reste zerfallen zu amorphem Pulver. Sie beteiligen sich an der Masse litoraler wie abyssaler Ablagerungen und treten nur da in größerer Menge unvermischt auf, wohin die früher geschilderten anorganischen Trümmer nicht gelangen.

So baut sich jede unter Wasser gebildete und mit den Resten von Wasseratmern erfüllte Ablagerung unter überaus rasch wechselnden Bildungsumständen auf und jedes Profil lehrt uns, wie mit dem Gesteinswechsel fast immer ein Faunenwechsel verbunden ist.

Ebenso wie sich die Gesteine ohne Übergänge überlagern, so treten uns auch die Faunenelemente meist transgredierend entgegen, und so verursacht der Fazieswechsel die regionale Verlagerung der Lebensbezirke, die Verbreitung der Synusien und das wechselvolle Zahlenverhältnis der mit- und nacheinander lebenden Arten.

Literatur

Brandt, K., Über den Stoffwechsel im Meere. Wissensch. Meeresuntersuchung der deutschen Meere in Kiel, und der Biologischen Anstalt auf Helgoland. Neue Folge. Band VI, 1902. — Deecke, W., Paläobiologische Studien. Sitzungsber. d. Heidelb. Akad. d. Wissenschaften, Math.-naturw. Kl., Biolog Wissensch. 1916. 2. Abhandl. — Louderback, George D., On the Exploration of the North Pacific Ocean. Bull. Nr. 9 for Biolog. Research University of California. — Mecking, L., Ozean und Antarktis. Mitteil. der Geogr. Ges. in München. Bd. XIX, 1926, Heft 1. — Merz, A., Die deutsche atlantische Expedition auf dem Vermessungs- und Forschungsschiff „Meteor". Sitzungsber. d. Pr. Akad. d. Wissensch., Physikal.-math. Kl., vom 26. Novbr. — Nathansohn, Alexander, Vertikale Wasserbewegung und quantitative Verteilung des Planktons im Meere. Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie, 1906. — Samojloff, J., Die Evolution des Mineralbestandes des Skeletts der Organismen. Zentralbl. f. Min. 1919, Nr. 19, S. 594. — Woods, H., The Evolution of Inoceramus in the Cretaceous Period. Quart. Journ. Geol. Soc., vol. LXVIII. 1912 p. l. — Yakowlew, N., Die Anheftung der Brachiopoden als Grundlage der Gattungen und Arten. Memoires du Comité Geologique St. Petersburg 48. 1908.

59. Die Raumbildung des Meeres

Wir sind gewohnt, das Meer von der Fläche aus zu betrachten, und auch die meisten geologischen Erörterungen verfolgen die Veränderungen der Küstenlinie nur als Ausdruck einer Änderung in den Beziehungen zu Festland und Wasser. Die Begriffe der Hebung und Senkung, der Transgression und Regression, der Epirogenese und Konstanz der Ozeane, umfassen Fragen, die meist nur von der Oberfläche der Hydrosphäre her behandelt worden sind.

Wir müssen uns einen andern Standpunkt wählen, wenn wir die Geschichte des Meeres richtig beurteilen wollen, und müssen die Dimensionen und Veränderungen seiner Fläche als Folgeerscheinung von Veränderungen seines Raumes zu erkennen suchen.

Das heutige Weltmeer kann uns in dieser Hinsicht nichts lehren, es ist selbst nur die Endform langer vorhergehender Entwicklungsperioden.

Aber die fossilen Meeresböden, Meeressedimente und Meeresfaunen geben uns so wertvolle Hinweise für seine Geschichte, daß wir daraus auch die Umbildungen seines Raumes in den Hauptzügen verfolgen können,

Die Mannigfaltigkeit in der chemischen Zusammensetzung der tierischen Hartgebilde und die noch im Kambrium deutlich erkennbare Tatsache, daß es Meeresbecken mit hornschaligen Tieren neben solchen mit kalkschaligen Organismen gab; der kalkige Bodensatz des präkambrischen Birisees ohne geformte organische Einschlüsse und viele ähnliche

Erscheinungen haben uns zu der Auffassung gedrängt, daß es bis zur kambrischen Periode zwar einzelne große Seebecken, aber noch kein einheitliches Weltmeer gab.

Erst seit dem Untersilur erkennen wir ein einheitlich umgrenztes, einheitlich gesalzenes und von einer phyletisch einheitlichen Fauna belebtes Weltmeer.

Der in der Altzeit so häufige Wechsel in der Lage der einzelnen Teile dieses Weltozeans, die häufigen Transgressionen und Regressionen seiner Fläche, das Vorwiegen litoraler und Flachsee-Sedimente, die häufige Einschaltung dunkler fossilleerer oder fossilarmer Schiefertone und besonders das Fehlen weltweit durchgehender Horizonte mit planktonischen Resten drängen uns zu dem Schluß, daß in der Altzeit das noch flache Meer leicht über seine Grenzen schreiten, festländische Randgebiete überfluten und ebenso leicht wieder trocken legen konnte.

Eine geschlossene, weltweit verbreitete Hochseefauna begegnet uns erst in den Fusulinenschwärmen des Perm und macht es wahrscheinlich, daß in diese Zeit die erste Anlage der heutigen großen abyssalen Meeresbecken zu setzen ist. Wir sehen eine Bestätigung dieser Hypothese auch darin, daß an der Wende der Altzeit fast alle heutigen Kontinente von großen Faltengebirgen durchzogen wurden, denen ähnliche Senkungsräume als tektonisches Korrelat entsprechen mußten.

Wenn diese Auffassung aber zu Recht besteht, so mußte damals zum erstenmal in größerem Stil und in allen Kontinenten ein allgemeiner Rückzug des Meeres auftreten. Weite Flächen ehemaligen Meeresbodens mußten verlanden und die auf den neu entstehenden Gebirgen ausgelösten Niederschläge mußten mit den Abtragungsprodukten der varistischen Gebirgszüge solche Mengen von Süßwasser nach den vom Meer allmählich freigegebenen Randgebieten tragen, daß hier unter dem Wechselspiel mariner Regression und festländischer Zufüllung eine Menge eigenartiger Wirkungen entstanden.

Indem wir von diesem Gedankenkreis die erdgeschichtlichen Ereignisse während der Karbonzeit prüfen, fallen uns eine ganze Reihe überaus seltsamer Vorgänge auf:

Die Vernichtung der durch die Brackwassersümpfe landeinwärts dringenden ehemaligen Meeresflora bedingte den Kohlenreichtum des Oberkarbon und Unterperm, die intensive Abtragung der Gebirge erzeugte die ungeheure Mächtigkeit der oberkarbonischen Trümmergesteine und der durch die abtragenden Süßwassermengen veranlaßte wiederholte Wechsel im Salzgehalt der Nebenmeere läßt uns verstehen, warum im Kulm wie im Oberkarbon fortlaufend Profile entstanden, in denen bald marine, bald limnische Fossilien eingeschlossen sind.

Wenn wir mit dem Beginn des Ordovizium die Geschichte eines einheitlichen monophyletischen Weltozeans beginnen und mit dem Beginn

der Mittelzeit die Entwicklung der Tiefseebecken und einer darüberstehenden weit verbreiteten Hochsee eintreten sehen, so müssen wir doch noch eines für die gesamte Geschichte des Weltmeeres ungemein wichtigen Faktors gedenken, den E. Suess als die Entgasung des Erdkerns bezeichnet hat.

Die früher allgemein verbreitete und auch heute noch gelegentlich vertretene Ansicht, daß zunächst die ganze Erdkugel von einem tiefen Meer bedeckt gewesen sei, aus dem erst später die einzelnen Festländer auftauchten, wird durch geologische Tatsachen einwandfrei widerlegt. Denn aus dem Algonkium und Kambrium sind uns ausgedehnte festländische Ablagerungen erhalten, die auf ein rein kontinentales Klima schließen und nirgends die Nähe eines großen Meeres vermuten lassen. Noch bedeutsamer aber sind die großen, mit glazialen Blocklehmen bedeckten Gebiete der präkambrischen Zeit, denn sie müssen von ebenso ausgedehnten rein festländischen Schneefeldern begleitet und genährt worden sein.

So mehren sich die Beweise dafür, daß große Festländer zu den ältesten Elementen der Erde gerechnet werden müssen.

Wie E. Suess zuerst ausgeführt hat, wird nun jede vulkanische Eruption von der Verlagerung riesiger Gasmassen aus dem Erdkern durch die Lithosphäre in die Atmosphäre begleitet und von hier fallen dann ungeheure Mengen wässeriger Niederschläge herab, die von da ab dem Kreislauf des Wassers unterliegen.

Wir bezeichnen die aus dem Magma frei werdenden Wassermassen als Eruptose, die außerhalb der Erdrinde befindlichen Gewässer nennt man Vadose und für die, auf dem Wege von unten nach oben oder von oben nach unten, innerhalb der Lithosphäre festgehaltenen Wasser wählen wir den Ausdruck Lithose.

Die Vadose, zu der in erster Linie das Meer gerechnet werden muß, vermehrt sich also bei jeder vulkanischen Periode aus den ungeheuren Vorräten der unterirdischen Eruptose. Es ist eine erdgeschichtliche Auswertung dieses Gedankengangs, wenn wir annehmen, daß die Größe des vom Weltmeer erfüllten Raumes während der ganzen Erdgeschichte zugenommen hat.

Aber diese beständige Zunahme der Vadose macht sich keineswegs in einer einfachen Vergrößerung der Meere und einer beständigen transgredierenden Verlagerung der Küstenlinie geltend, weil die Einsenkung der Tiefseebecken ihr entgegen arbeitet. So wird also die Geschichte des Weltmeers zunächst durch zwei antagonistisch wirkende Vorgänge bestimmt, die aus verschiedenen Ursachen und in verschiedenem Tempo tätig sind.

Man möchte versucht sein, diese Vorgänge durch eine statistische Betrachtung der vulkanischen Erscheinungen zu erläutern und aus der

Mächtigkeit und Verbreitung der in festländischen Profilen aufgeschlossenen Magmagesteine einen Maßstab für die Intensität der Entgasung des Erdkerns in verschiedenen Perioden zu gewinnen.

Aber solchen Untersuchungen stellen sich immer große Schwierigkeiten in den Weg. Zunächst wissen wir kaum etwas über die Menge der aus einem Vulkangebiet in die Atmosphäre gelangenden Dämpfe. Man könnte die Mächtigkeit der vulkanischen Tuffe einer solchen Berechnung zugrunde legen — aber wir wissen, wie rasch neu gefallene vulkanische Aschendecken umgelagert werden und welche Mengen von Feinasche gar nicht im Vulkangebiet niederfallen, sondern jahrelang in der Atmosphäre schweben, bis sie irgendwo in weiter Ferne als festländischer Staub oder mariner Schlamm wieder abgelagert werden.

Besonders wichtig ist es aber, daß wir Zweidrittel der Erdoberfläche gar nicht auf diese Frage hin prüfen können, denn welcher Raum im Sockel vulkanischer Inseln von geologisch älteren Vulkanausbrüchen gebildet wurde, kann man nicht entscheiden.

So bleibt leider der hypothetische Charakter dieser Betrachtungsweise bestehen und eine zahlengemäße Prüfung der erdgeschichtlich so wichtigen Frage nach der Vermehrung des Meerwassers erscheint uns unmöglich.

Die Schwierigkeiten steigen, wenn wir erwägen, daß vorübergehend auch große Mengen ozeanischer Vadose auf den jeweiligen Festländern gespeichert werden. Das geschieht erstens durch die Bindung von Wasser bei der Verwitterung, denn die entstehenden Hydrate verbrauchen beträchtliche Wassermassen. Die mächtigen Verwitterungsdecken, die besonders in einer antinomen Klimaperiode entstehen, und die dann als feinpulverige Tongesteine umgelagert und wieder abgelagert werden, sind immer wieder dem Wasservorrat des Ozeans entnommen worden.

Den bedeutendsten Verlust erleidet aber das Weltmeer bei großen Schneezeiten. Penck hat berechnet, daß während des Diluviums eine Schicht Ozeanwasser von rund 100 m Mächtigkeit auf das Festland verlagert war. Selbst wenn wir nur die Hälfte dieser Zahlen für wahrscheinlich halten, ergeben sich, wie Daly ausgeführt hat, daraus die merkwürdigsten biologischen Folgen: Große Flächen, die jetzt an den Küsten Ostasiens und von Insulinde unter dem Meere liegen, waren damals landfest. Die Behringsbrücke gab den Tieren der alten Welt Gelegenheit zu Wanderungen nach Nordamerika — ohne diese Voraussetzung wäre die Verbreitung der Elephantiden in Amerika ganz unverständlich. Japan war landfest mit China verbunden, von Hinterindien war eine Landverbindung über Sumatra, Java, Borneo bis nach Timor geschaffen und die Flächen des heutigen nordaustralischen Meeres waren ein großes Festland. Das heute vom großen Wallriff bewachsene Flachseeland bildete

eine Verbreiterung des Kontinents nach Neuguinea und die Baßstraße erlaubte den Urmenschen, bis nach Tasmanien vorzudringen.

Ebenso groß waren die Veränderungen von Meer und Festland im malayischen Archipel und den Inseln des Pazifik, wo die Gipfel großer Vulkangruppen, von der Abrasion durchschnitten, die Grundlage für die spätere Ansiedlung von atollbildenden Korallen bot.

Große Flächen des Mittelmeergebietes verbanden Afrika mit Europa, und die flachen Wasserflächen des englischen Kanals, der irischen See und der südlichen Nordsee bildeten aus diesen heute isolierten Inseln und Halbinseln ein großes Nordeuropa. Nordamerika war durch eine Antillenbrücke mit dem Feuerland, dieses mit den Falklandinseln verbunden, und alle diese meerestrennenden Schranken und länderverbindenden Brücken entstanden nur dadurch, daß im Norden von Amerika und Europa große Mengen von Schnee klimatisch gespeichert wurden.

Das ozeanographische Bild dieser Vorgänge äußerte sich überall in einem Rückzug der Küstenlinie oder einer „Hebung des Landes" — aber das Meer selbst war dabei doch nur indirekt beteiligt.

Als im großen Interglazial und am Schluß der Diluvialzeit diese Schnee- und Eismassen schmolzen, begann überall der Meeresspiegel wieder zu steigen und die Erscheinung einer „Senkung" trat an allen Inseln, die einer „Transgression" an den Rändern aller Festländer auf. Im kalten Polarmeer drängte der Packeisgürtel gegen das Festland vor und erzeugte die so auffallenden Schelfränder. In milderen Breiten versanken die Landbrücken und nur einzelne Inselgipfel ragen noch heute über den Meeresspiegel empor. Im warmen Tropenmeer aber siedelten sich auf den scheinbar sinkenden Vulkankegeln die Atolle an, während auf dem überfluteten Ostrand von Australien der breite Wallriff wuchs.

Aber nicht minder wichtig für ein Verständnis der Geschichte des Weltmeeres und das seiner transgredierenden oder regredierenden Randerscheinungen der Vorzeit sind die tektonischen Raumveränderungen in seinem großen Wasserbecken.

Wenn wir die auf dem Festland vor unsern Augen sich vollziehenden Massenverlagerungen auf den Meeresboden übertragen wollen, so müssen wir zunächst daran erinnern, daß eine doppelt so große Fläche der Erdkugel von Wasser bedeckt ist, als die Fläche des trocknen Landes ausmacht. Wir sollten daher alle festländischen Vorgänge in ihrem Ausmaß verdoppeln, wenn wir deren raumverändernde Wirkung erdgeschichtlich richtig einschätzen wollen.

Allein eine solche Betrachtungsweise genügt noch nicht, um die vom Weltmeer und seinen jüngsten Sedimenten verhüllten Erscheinungen des Meeresgrundes erkennen zu wollen, denn alle morphologischen Veränderungen, die wir auf dem Festland beobachten, spielen sich an der

Grenze der Lithosphäre gegen die leichte Lufthülle der Atmosphäre ab. Sie werden außerdem durch das Klima und die Biosphäre beeinflußt und die meisten dieser Vorgänge geschehen zwar unter Mitwirkung von transportierendem Wasser, aber nicht unter der schweren Last einer gewaltigen Wassermasse.

Wir beginnen unsere vergleichende Darstellung mit der Abtragung und Auflagerung, die auf dem Festland und selbst noch an der Küste die maßgebende Ursache für morphologische Veränderungen ist: Alle Schutthalden und schutterfüllte Senken, alle Flußauen und ariden Trockenseen fehlen dem Meeresboden, weil weder die Sonnenstrahlen noch das vielgestaltige Relief des Landes solche örtlich begrenzte Ansammlungen von Verwitterungsprodukten erzeugen. Vielmehr werden solche Trümmer durch die zähen, aber ausgleichenden Bewegungen des Tiefenwassers über weite Flächen ausgebreitet.

Wenn wir am heutigen Meeresboden die steilen Böschungen mancher Inselgruppen betrachten, so könnte man daraus schließen wollen, daß auch am Boden der fossilen Meere ähnliche steil geböschte Schichtungswinkel verbreitet gewesen wären. Aber die geologische Beobachtung der Schichtenflächen erlaubt einen solchen Schluß nicht. Sehen wir doch, daß die überwiegende Mehrzahl der in 25000 m mächtigen Schichtenfolgen leicht übersehbaren Gesteine fast ausnahmslos ursprünglich horizontal geschichtet gewesen sind. Erst durch nachträgliche tektonische Störungen sind die wechselnden Fallwinkel entstanden, die wir in gefalteten Gebieten so häufig finden und deren einheitlicher Streichen jeden Versuch, darin ursprüngliche Meeresbodenformen zu sehen, widerlegt. Nur an den Grenzen von Kalkstöcken sind die ursprünglichen Böschungen der ehemaligen Riffe zu verfolgen; aber auch sie gleiten bald in die schwebende Lagerung normaler Wasserabsätze hinüber.

Ganz auffallend ist die Feinkörnigkeit der eigentlichen marinen Sedimente, weil die gröberen Trümmer schon im Litoralgebiet liegen bleiben. Das Fehlen von erkennbarem Quarz in allen Tiefseesedimenten beweist, wie unerreichbar das tiefe Wasser für die eingeschwemmten Flußsande ist.

Selbst die Deltaschüttungen an der Mündung großer Flüsse verlieren rasch ihre steile Böschung, und nur auf den genauesten Seebodenkarten kann man neben den flachen Schlammbänken und Untiefen die sanft geböschten Ränder ertrunkener Täler erkennen. Auch sie sind, wie uns viele fossile Profile lehren, rasch vergängliche Erscheinungen. Denn wenn wir die Auflagerung von transgredierenden Meeresschichten auf klippenreichem Untergrund aufgeschlossen sehen (Zechstein am Bohlen bei Saalfeld, Kreide im Elbtal), so erkennen wir, daß die anfangs wie ein flach gebogener Teppich ausgespannten Schichten im Hangenden rasch horizontal werden.

Aber wenn es auch am Meeresboden nicht zur Bildung lokaler Trümmermassen kommt und alle festländischen Sedimente über weite Flächen horizontal geschichtet ausgebreitet werden, so drängt doch jedes Sandkorn, das ins Meer getragen wird, eine ebenso große Masse Seewasser über den Rand seines Beckens, und eine 1 m mächtige Sedimentschicht, die ein Porenvolumen von 30 cm hat, muß den Meeresspiegel um 70 cm heben, mit anderen Worten: dessen Uferlinie, je nach der Uferböschung, um ein kleines oder großes Stück landeinwärts verschieben.

Der zweite Vorgang, den wir als raumverändernd auf dem Festland beobachten, ist die Aufschüttung von Vulkanen. Auch hier bietet der Meeresboden etwas abweichende Verhältnisse, weil die großen Aschenmengen, die aus dem Krater in die Atmosphäre hinaufsteigen und über große Flächen ausgestreut werden, sich bei submarinen Ausbrüchen im Wasser zu einem zähen Brei verwandeln müssen, der im Umkreis des Eruptivkanals abgelagert wird. Der Sockel vieler, in einzelnen Vulkaninseln über den Meeresspiegel ragender Vulkangebiete ist durch die Tiefseelotungen genau untersucht und gibt uns eine Vorstellung von der großen Raumverdrängung, die bei jeder vulkanischen Periode im Ozean eintritt. Auch hier muß sofort eine steigende Bewegung an allen Küsten des Weltmeeres einsetzen, und wie bei der Sedimentbildung werden hierdurch auch die Tiefen der Flachsee leicht verändert. Zahlreiche Vorgänge, die wir als Faziewechsel und Faunenwechsel in unsern Profilen aus der Vorzeit des Meeres aufgeschlossen sehen, hängen mit solchen Ursachen zusammen.

Ganz anders müssen aber endlich die tektonischen Veränderungen am Meeresgrund beurteilt werden. Auch hier gehen wir von der Annahme aus, daß dieselben subkrustalen Spannungen, die auf den Festländern zu verschiedenen Zeiten und in verschiedenen Räumen ein Faltensystem, ein Bruchnetz oder ein System von Zugspalten erzeugen, die vom Ozean überfluteten und überlagerten Meeresböden tektonisch ebenso verändern. Denn die unzweideutigen Beweise für diese Verallgemeinerung liegen in geologischen Profilen und im Bau der ozeanischen Küstengebiete klar vor Augen.

Was E. Suess den atlantischen Typus der Faltengebirge genannt hat, also das Abbrechen größerer Faltenzüge an der Küste und ihr Wiederauftauchen jenseits kleiner oder größerer Meeresflächen, ist doch nur der Ausdruck dafür, daß solche Meere ein vorher einheitlich streichendes Faltengebiet teilweise überflutet haben. Das Untertauchen der amerikanischen Falten am Kanal, ihr Wiedererscheinen in Cornwall, das Wiener Becken im Alpenbogen und das von Nordirland über Schottland bis nach den Lofoten streichende Caledonische Gebirge sind doch nur die auf einem höheren Niveau stehenden Schollen von lang gestreckten Störungszonen.

Daß auch der Boden der Tiefsee von solchen Zonen durchzogen wird, beweisen die riesigen Gräben, die man dort erlotet hat, und deren Ausmaß viel größer ist, als ähnliche Gräben des Festlandes. Aber ihre Ränder sind nicht etwa, wie die kontinentalen Grabensenkungen, von felsigen Steilrändern begrenzt und mit Schutthalden bedeckt, welche das durchströmende Wasser nach der Grabensohle befördern und von hier nach den Niederungen ausräumen wird, sondern dasselbe feinschlammige Sediment, das so große ungegliederte Flächen des Meeresbodens überzieht und in dessen weichen Brei die Lotröhre oft 1 m tief hineinsinkt, überzieht auch die großen Störungsgebiete des Tiefseegrundes.

Wie ist dieser fundamentale Gegensatz zu erklären, weshalb sind die abyssalen Störungsgebiete nicht Abtragungsräume, sondern Flächen beständig weitergehender Auflagerung?

Wir müssen, um diese scheinbaren Widersprüche zu verstehen, uns erinnern, daß die Faltengebirge und Bruchränder des Festlandes Oberflächenerscheinungen sind, die nicht nur topographisch gegeneinander bewegt, sondern zugleich unter dem Einfluß klimatischer Kräfte denudiert werden. Die Sprunghöhe der Randbrüche vieler Horste und Gräben, die Höhe der über einer abgetragenen Forstebene theoretisch errechneten Gebirgsketten hat niemals der topographischen Höhe des gestörten Geländes entsprochen. Denn gleichzeitig mit der Störung durch Bruch oder Faltung setzte die Verwitterung und Abtragung der Höhengebiete ein. Der größte Teil der allmählich entstehenden Sprunghöhe von Verwerfungen, die gewaltigen Schubmassen, die man in alpinen Profilen rekonstruiert, dürfen nur als Maßstab der beständig fortgehenden tektonischen Bewegung, aber nicht als Ausmaß eines zur Ruhe gekommenen Störungsgebietes aufgefaßt werden. Denn jede abgetragene Gesteinsmasse mußte den Seitenschub zu erneuter Leistung zwingen und immer wieder Gleitbewegungen an den alten Störungslinien auslösen. Wenn der Horst des Thüringer Waldes auch stratigraphisch 1500—2000 m höher liegt als die benachbarten Senkungsfelder, so ragte diese Gebirgsmauer doch niemals ebenso hoch über ihr Vorland empor, sondern stets erzeugt das Wechselspiel von Störung und Abtragung eine mittlere Gipfelhöhe, die zwar in gewissen Grenzen schwankt, aber niemals das Ausmaß der tektonischen Sprunghöhe erreicht haben kann.

Dem Boden der Tiefsee fehlen die abtragenden Kräfte. Selbst die vielfach festgestellte Lösung zarter Kalkschalen in seinen Sedimenten reichen nicht aus, um den Auflagerungsvorgang zu unterbrechen. So ist es kein Wunder, daß die Tiefseegräben, dem wirklichen Ausmaß der dort stattfindenden tektonischen Verschiebungen entsprechend uns so große Tiefen erkennen lassen.

Aber diese Betrachtung erklärt noch nicht, weshalb sich nicht am Boden großer Tiefseegebiete offene Spalten bilden, deren Wände durch

Absinken des aufgebrochenen Gesteins zur Bildung von festen Steilabstürzen führen Würde irgendeiner der großen Tiefseegräben von harten Felsen begrenzt sein, so müßte man irgend einmal grobe Bruchstücke derselben in den Sedimenten des Grabens entdeckt haben.

Wir müssen aber in diesem Zusammenhang daran denken, daß eine Schicht von 4000—8000 m Wasser über dem Tiefseeboden liegt, die ungefähr dem Gewicht einer Gesteinsschicht von 2000—3000 m entspricht. Die am Boden der Tiefsee entstehenden tektonischen Störungen können daher nicht mit ähnlichen Störungen an der Grenze der Lithosphäre gegen die leichte Atmosphäre verglichen werden, sondern entsprechen dynamisch etwa dem Zustand einer in 2000 m Tiefe liegenden Gesteinsmasse.

Daß in solchen Tiefen keine Spalten und Klüfte entstehen, sondern eine plastische Umformung der im Hangenden so spröden Gesteine eintritt, ist seit den Untersuchungen A. Heims über den Mechanismus der Gebirgsbildung allgemein bekannt. Es kann daher auch am Boden eines tiefen Meeres nicht zur Bildung von felsigen Horsten oder Spaltentälern mit weit geöffneten Luftsätteln kommen, sondern alle Spannungen in der abyssalen Lithosphäre müssen sich in Biegungen und Flexuren auslösen, die unter der hohen Last der darüberliegenden Wasserschichten auch andere topographische Formen annehmen, wie ähnliche Folgeerscheinungen auf landfestem Gebiet.

Obwohl diese Betrachtungen der heutigen Meeresgründe rein theoretisch zu sein scheinen, so geben uns doch zahllose Profile durch ehemalige Meeresböden aller Perioden die klaren Beweise, daß alle Diskordanzen durch festländische Abtragung entstanden sind und daß in den bekannten fortlaufenden Meeresprofilen niemals eine Diskordanz und keine submarine Störungszone beobachtet werden konnte.

Daß neben diesen, auf Seitenspannung zurückzuführenden Druckfalten aber auch Zugstörungen am Meeresboden auftreten, beweisen die gerade hier so häufigen vulkanischen Archipele. Ihre oft reihenförmige Anordnung legt Zeugnis davon ab, wie langgestreckte Störungszonen mit einer seitlichen Lockerung der Lithosphäre verbunden sind.

So kommen wir zu der Auffassung, daß zwischen Meeresgrund und Festland kein grundsätzlicher Unterschied in dem Auftreten tektonischer Störungen vorhanden ist, daß Zusammenschiebungen und Zerrungen in beiden Gebieten mit gleichartigen Streichen auftreten —, daß aber die über dem Meeresboden lastende Wassermasse andere Formen, andere Begleiterscheinungen und andere Folgen bedingt.

Indem wir auf Grund der geschilderten Bewegungen der ozeanischen Teile der Lithosphäre uns wieder zu den Veränderungen des in dem Ozeanbecken lagernden Wasserkörpers wenden, ergibt sich, daß dessen Wände durch großzügige Bewegungen bald aufwärts — bald abwärts gebogen werden, und daß diese in unergründlicher Tiefe sich vollziehenden

Wölbungen eigenartige epirogenetische Vorgänge auslösen müssen. Jeder neu angelegte oder sich vertiefende abyssale Graben, jedes durch regionale Senkung sich vergrößernde Ozeanbecken muß eine ebenso große Wassermenge in sich aufnehmen und überall einen Rückzug der Küstenlinie bedingen.

Andererseits muß jede submarine Hebung den vorhandenen Wasserraum verkleinern und transgredierende Bewegungen des Meeres hervorrufen.

Aber nicht allein die Elementengrenze wird dadurch verlagert, sondern gleichzeitig ändern sich alle lithogenetischen und bionomischen Umstände der Flachsee und der aus tiefem Meer aufragenden Untiefen.

Wir können die tektonischen Vorgänge der heute festländischen Teile der Erdrinde stratigraphisch und chronologisch leicht ordnen; wir wissen, wann die kaledonische oder die varistische Faltung erfolgte, und das Alter der Alpen ist ebenso bekannt, wie die Faltungszeit des Himalaja oder der Appalachen.

Aber noch gibt es keine Methode, um die großen Bewegungen am Boden des Weltmeeres chronologisch festzulegen — nur indirekt können wir aus den sogenannten Regressionen und Transgressionen erschließen, wann solche tektonische Vorgänge eingetreten sind und wann sie ihren Höhepunkt erreicht haben.

60. Die Transgressionen und Regressionen

Jede der im vorigen Abschnitt unterschiedenen Veränderungen im Raum des Weltmeeres muß naturgemäß mit einer Bewegung des Wasserspiegels verbunden sein, und dieser wird an einer senkrecht abfallenden Steilküste weder durch sein Steigen noch durch sein Sinken flächenhaft verschoben; aber je flacher das Ufergelände ist, desto mehr verwandelt sich jene Wasserbewegung in eine Veränderung der Meeresfläche.

Um die an Steilküsten oft so deutlichen Wassermarken nur beschreibend, nicht erklärend zu benennen, schlug E. Suess vor, eine „Hebung" des Strandes als negative, eine „Senkung" der Küste als positive Strandverschiebung zu bezeichnen, und unterschied die unter wechselnden Bedingungen eintretenden „Oszillationen" von den gegen die Küste in einer Richtung vorschreitenden „Transgressionen" und den entgegengesetzten „Regressionen" des Ozeans. Er hat auch zum erstenmal versucht, die Transgressionsperioden der Erdgeschichte zusammenzufassen und damit einer ozeanologischen Auffassung der damit verknüpften Lagerungsverhältnisse die Wege geebnet, aber seine Erklärung dieser Bewegung als einer allgemeinen Verlagerung der Hydrosphäre entbehrt des wissenschaftlichen Beweises.

Nach E. Suess hat man unternommen, auch jede Veränderung des Fossilgehaltes bestimmter Schichtenfolgen als eine „Transgression" zu be-

zeichnen, und damit den biologischen Charakter dieser Erscheinung in den Vordergrund gerückt. So ist die Lehre von den Transgressionen und Regressionen immer mehr zu einem theoretischen System geworden, über dessen Grundlagen keine Übereinstimmung besteht.

Um uns über dasselbe klar zu werden, gehen wir von der Gegenwart aus, wo der große Wasserkörper des Weltmeeres und die durch den Kreislauf des Wassers damit verbundenen süßen, halbsüßen oder übersalzenen Wassermengen des Festlandes von einer Lebewelt erfüllt sind, die, in einzelne Lebensbezirke und Synusien zergliedert, die verschiedenen Lebensräume der Hydrosphäre bewohnt.

Es erscheint Vielen selbstverständlich, daß jede Verlagerung des Ozeans, eines Flußsystems oder eines Binnensees gleichzeitig die darin lebende autotrophe und heterotrophe Lebewelt gleichsinnig verschiebt, und da man gewohnt ist, die fossile Lebewelt des Wassers ohne ihre ehemalige natürliche Umwelt in den Schichten der Erdrinde zu sehen und zu sammeln, so hat sich allmählich die Vorstellung befestigt, daß man aus der Verbreitung einer wasseratmenden Synusie nicht allein auf die marine Entstehung des umhüllenden Gesteins schließen dürfe, sondern daß auch jede geographische Änderung in der Verbreitung einer leitenden Art oder einer als „Horizont" erkannten Synusie Rückschlüsse auf die ehemaligen Veränderungen des Weltmeeres gestatte.

Besonders F. Frech hat diese „biologischen" Transgressionen, unbekümmert um die Lagerungsformen und Bildungsumstände der fossilführenden Gesteine, allgemein behandelt und sogar diese vermeintlichen Bewegungen der Weltmeere auf Weltkarten durch besondere Signaturen dargestellt.

Ich will nicht weiter darauf eingehen, wie oft die Paläontologen nach diesem Vorbild jede Faunenverschiebung als transgredierende Allgemeinbewegung des Meeres betrachtet haben und wie oft auf solchen durchaus hypothetischen Voraussetzungen tiergeographische und erdgeschichtliche Folgerungen gezogen worden sind.

Wir wollen vielmehr einmal kritisch prüfen, inwiefern und inwieweit wohl aus der Verbreitung von fossilen Resten wasserbewohnender Organismen auf eine gleichsinnige Massenbewegung des Weltmeeres geschlossen werden darf.

Unserm Grundsatz getreu, eine fossile Fauna nicht losgelöst von ihrer lithologischen Umwelt, sondern in ihrer natürlichen Umgebung zu untersuchen und die Gesichtspunkte für ihre biologische Deutung aus ihrer Lagerung in der Schichtenfolge zu gewinnen, wollen wir die wichtigsten Lagerungsverhältnisse, unter denen wir eine spezifisch verschiedene fossile Lebewelt in einer fortlaufenden Schichtenreihe auftreten sehen, in folgende drei Gruppen trennen:

1. Neue Formenkreise treten am häufigsten mit einem Fazieswechsel auf, wobei, wie wir mehrfach auseinandergesetzt haben,

der Fossilgehalt des Hangenden meist ohne Übergang grundverschieden von dem des Liegenden ist.

Wenn mehrere Gesteine miteinander wechsellagern, wechselt meist ebenso oft der Fossilgehalt, und an den Grenzen eines Faziesgebietes enthalten die auskeilenden Zungen des einen Gesteins oft eine Lebewelt, die grundverschieden ist von der in den letzten Ausläufern des Nachbargesteins gefundenen Fossilien.

Indem wir die Fazies als Ausdruck des biologischen Standortes betrachten, wird diese Form eines Faunenwechsels ohne weiteres verständlich, doch fehlt ihr, wenn wir so sagen dürfen, der „transgredierende Charakter" einer weltweiten Erscheinung. Aber selbst die bloße Tatsache eines solchen Faunenwechsels regt für die Welt der Wasseratmer eine ganze Fülle von biologischen Fragen an.

Denn im allgemeinen „wandern" Wassertiere nicht wie nektonische Heringe und festländische Zugvögel oder Heuschrecken im erwachsenen Zustand, sondern sie verändern ihre Wohnplätze nur während ihrer Jugend als meroplanktonische Larven.

In den Perioden der Fortpflanzung, deren so wechselnden Eintritt wir S. 264 dieses Buches an dem Beispiel der Fauna des Golfs von Neapel geschildert haben und die für jeden Meeresteil und jede Breite verschieden sind, wird das Wasser nicht nur mit zahllosen glashell durchsichtigen Eiern erfüllt, sondern bald entwickeln sich daraus die zierlichen, für jede Tiergruppe verschiedenen Larvenformen. Überall entdecken wir sie im Planktonnetz zwischen den ausgebildeten Exemplaren erwachsener Planktontiere, überall hin treibt der Strom dieser zierlichen Schwärme, und aus diesen unerschöpflichen und immer wieder auftretenden Schwärmen, die zum Teil den planktonfressenden Hochseetieren zum Opfer fallen, sinken immer wieder große Mengen zum Meeresgrund hinab. Treffen sie hier auf ungünstigen Boden, dann gehen sie rasch zugrunde, aber wenn sie dort die ihnen zusagende Fazies finden, so siedeln sie sich rasch an.

Der kartierende Geologe, der die verschiedenen, mit Terebratula vulgaris erfüllten Bänke des germanischen Muschelkalkes ausscheidet, verfolgt diese wiederholten Transgressionen dieser Art. Denn aus ihrer fernen Heimat (man kennt sie in der Trias der Südalpen, ja sogar aus dem Himalaja) wandert sie zur Rötzeit bis nach dem Oberrhein, findet sich im Wellendolomit des Aargaus und in einer dünnen Bank mit der Varietät T. Ecki in Franken und Thüringen. Dann aber tritt sie in einer 60 cm mächtigen Kalkbank hier so zahlreich auf, daß diese fast nur aus zerbrochenen und ganzen Schalen besteht. Fast mit Ausschluß aller anderen Tiere müssen Generationen der haselnußgroßen Brachiopoden aufeinandergewachsen sein.

Deutlich sieht man, wie die über der Terebratelfazies stehenden Gewässer mit Wolken von Terebratellarven erfüllt waren, die immer

wieder herabsanken und zu neuen Generationen heranwuchsen, deren Schalen von dem muschelknackenden Placodus zerbrochen wurden.

Wie mit dem Messer abgeschnitten verschwindet dann der Terebratelkalk. Es bilden sich etwa 30 cm terebratelfreien Schlammes, auf diesem aber wächst Terebratula wieder in staunenswerter Individuenzahl, bildet abermals eine 60 cm mächtige Terebratelbank, und während dann weiter in der mittleren Muschelkalkzeit neben Gips- und Salzlagern etwa 70 m Kalkstein gebildet werden, hat sie die für sie günstigen Lebensbedingungen nicht einmal gefunden.

Dann aber ist sie im oberen Muschelkalk wieder zur Stelle. Große, „fette" Exemplare zeigen, wie wohl sie sich fühlt, und eine kleine Varietät T. cycloides setzt wieder eine 10 cm hohe Schicht fast ausschließlich zusammen. Dann verschwindet sie aus Deutschland, und ihr letztes Auftreten im mittleren Keuper von Dettelbach ist ein Zeichen dafür, daß sie, noch immer lebenskräftig im Triasmeer gedeihend, einen letzten Versuch zur Einwanderung unternehmen konnte.

Aber alle diese Einwanderungen wurden nicht von erwachsenen Exemplaren ausgeführt, denn Terebratula gehört zum fossilen Benthos, sondern von den Schwärmen kleiner glasheller Larven, die, während sie durch die Fluten getrieben wurden, ihre kleine Schale (Protegulum) anlegten. Dann setzten sie sich am Boden des Muschelkalkmeeres fest und blieben lange Generationen hindurch fast die einzigen Bewohner seines hartschaligen Grundes.

In der Zwischenzeit trieben immer wieder ähnliche Larvenschwärme nach dem durch Verdunstung übersalzenen Wasserbecken, aber sie starben ab, sobald sie in die für ihre Entwicklung ungünstige Lösung gelangten.

Wenn uns schon das „Verschwinden" der Terebratula im mittleren Muschelkalk zeigt, welche Bedeutung das dort herrschende Klima für die Schicksale einer beständig ausschwärmenden Art gewinnt, so tritt dies um so deutlicher in die Erscheinung, wenn es sich um eine ganze Fauna handelt.

Die Verarmung der Muschelkalkfauna erreichte ihren Höhepunkt während der mittleren Keuperzeit, als auf festländischem Grunde, aber in topographischer Nähe des Weltmeeres, die fossilleeren roten Letten entstanden, die nur wenige Male und für kurze Zeit mit einer artenarmen Binnenseefauna besiedelt waren. Ich glaube nicht, daß diese roten Letten ganz Deutschland in gleicher Mächtigkeit bedeckten, vermute vielmehr, daß damals wie heute in Westaustralien weite, mit Cycadeen bewachsene Flächen von großen Pfannen unterbrochen waren.

Die Mächtigkeit von 450 m buntem Keuper entspricht der Tiefe, bis zu welcher verschiedene Sammelmulden während dieser Zeit eingesunken waren.

Dann aber sank die ganze Fläche und es begann die Transgression des Jurameeres.

Bekanntlich erstreckt sich zwischen Tripolis und Tunis von der Kleinen Syrte aus ein großes Tiefland in die nordafrikanische Wüste hinein, das, von ausgedehnten Salzseen, Kieswüsten und Sandebenen bedeckt, zum großen Teil unter dem Meeresspiegel liegt. Wiederholt ist der Plan aufgetaucht, diese Gegend durch einen Kanal mit dem Meere zu verbinden in der Erwartung, dabei eine große Meeresbucht entstehen zu lassen und diesen Teil der nordafrikanischen Wüste der Schiffahrt zu erschließen.

Wenn man diesen Plan immer wieder aufgegeben hat, so standen ihm nicht so sehr topographische als klimatische Hindernisse entgegen. Denn das ganze Gebiet gehört zu einem abflußlosen Wüstenland. Würde man dem Meer einen Zugang zu der Depression schaffen, so könnten zwar die Meeresfluten in stürmischer Eile in die leere Wanne hineinstürzen; sie würden vorhandene Salzablagerungen am Boden der Schotts auflösen, die dort lebende Salzfauna mit sich reißen und, gemischt mit den Resten der marinen Tierwelt, weithin verbreiten; das Wasser würde den Salzton in den Schotts aufwühlen, in die Sanddünen dringen, durch die trockenen Uadis fluten und bis zum Niveau des Mittelmeeres überall eine vielgestaltige Wasserfläche erzeugen. Allein die überwiegende Verdunstung würde das Seewasser eindampfen, und das verdampfte Wasser würde vom Mittelmeer aus immer wieder durch neues Salzwasser ersetzt. Die mithereingetragenen Meerestiere würden größtenteils in dem übersalzenen Wasser sterben und sich in dem Gipsschlamm, der sich am Boden ausscheiden würde, trefflich konservieren. Endlich aber würde das immer mehr eingedampfte Salzwasser einen flachen Salzsee bilden, an dessen Boden Salzablagerungen entständen, und zuletzt würde der Sand und Staub der Wüstenstürme die Wasserfläche wieder zum Verschwinden bringen. Es ist dieser Vorgang in der Transgression des Zechsteinmeeres und seiner Schichtenfolge leicht wieder zu erkennen.

Ganz anders aber müßte der Vorgang verlaufen, wenn mit der Senkung eine Klimaänderung Hand in Hand ginge, welche die Niederschläge vermehrte, die Trockenheit der Luft verminderte und die Trockentäler in dauernde Flüsse verwandeln würde.

Die unter solchen Umständen sich ablösenden Ereignisse sind in klaren Profilen aufgeschlossen, welche in vielen Teilen Deutschlands schrittweise den Übergang zwischen der Keuper- und der Jurazeit vermitteln.

Die Gesteine, welche dem Eindringen des Jurameeres entsprechen, werden als Rät bezeichnet. Ihre Mächtigkeit schwankt zwischen 5 und 25 m. Die bunte Farbe der liegenden Keuperletten wird durch graue Schiefertone und helle Sandsteine ersetzt. Sie enthalten schlecht erhaltene Muscheln, die teilweise den Artnamen „praecursor“ führen, um anzudeuten,

daß sie die ersten Vorposten der Jurafauna sind. Zahlreiche Trümmer von Pflanzen zeigen, daß die Gegend vielfach bewachsen war und sogar schwache Kohlenbänkchen als Zeichen des steigenden Grundwasserspiegels entstanden.

Von besonderem Interesse sind einige dünne Zwischenschichten, reich an Knochenstückchen und Zähnchen, die man als „Bone-bed" bezeichnet. Untersucht man den Fossilgehalt dieser dünnen Lagen genauer, so erkennt man Haifischzähne, Ganoidenschuppen und -zähne, Reste von Ceratodus und allerlei Lurchtieren vom Stamme der Amphibien und Reptilien. Als besondere Kostbarkeit hat man dazwischen Zähnchen von kleinen Säugetieren gefunden.

In trefflicher Weise hat E. Fraas die Entstehung des Bone-bed darauf zurückgeführt, daß das fischreiche Meer in eine von kleinen und großen Landtieren belebte Depression hineinbrach und, die Reste beider Lebensbezirke durcheinander mischend, ein Trümmerwerk von zerrissenen Leichen umherwarf, das bei weitergehender Senkung von jüngeren Gesteinen bedeckt, noch heute Zeugnis ablegt von den stürmischen Umständen, unter denen das Jurameer von Süd-Deutschland Besitz ergriff.

Während die Senkung der deutschen Sammelmulde weiterging und das Klima immer niederschlagsreicher wurde, verbreiterte sich die Fläche des Meeres, und bald mögen neben der sächsisch-böhmischen Masse nur noch kleinere oder größere Inseln im Gebiete des Rheinischen Schiefergebirges, des Harzes und von Ostthüringen aus der weiten Wasserfläche hervorgeragt haben.

Von S her drang das Meer mit seinen Tieren in den marinen Zwischenschichten des Rät immer tiefer herein, und auf die verarmte Triasfauna folgte der Formenreichtum des unteren Jurameeres.

Fossilarme schwarze Schlammablagerungen, welche bei Aalen 40 m, bei Göppingen 60 m, bei Balingen zu einer Mächtigkeit von 100 m anschwellen, machen es wahrscheinlich, daß in einzelnen Meeresbuchten die im verwesenden Schlamm entstehenden Gase die tieferen Wasserschichten unbewohnbar machten. In den planktonreichen Oberschichten aber schwammen Ammoniten, Belemniten und Fische umher, denen die delphinartigen Ichthyosaurier nachstellten. Bei Holzmaden in Schwaben sind zahlreiche Exemplare dieser fischähnlichen Eidechsen so wohl erhalten, daß sie plötzlich gestorben und rasch im weichen Schlamm eingebettet worden sein müssen. Der Gehalt desselben an Schwefelkies macht es wahrscheinlich, daß die mit kräftigem Flossenschlag das Wasser durcheilenden Ichthyosaurier den Bodenschlamm aufwühlten und durch die aufsteigenden giftigen Gase getötet wurden. An Treibholzstämmen angeheftet, schwebten prächtige Seelilien mit ihrem 2—5 m langen Stiel, und wenn sie starben, wurden die, einem zierlichen fünfstrahligen Stern gleichenden Stielglieder überall umhergestreut.

Die Mündungsgebiete der großen, von Ceratodus belebten Keuperflüsse und der damit verbundenen, von Ganoiden belebten Schaltseen waren die Eingangspforten für zahlreiche lokale Transgressionen des südlichen Triasmeeres. Erst als die Senkung des Keuperlandes so energisch wurde, daß das Meer nicht nur den Hauptstrom, sondern auch den vielverästelten, seenreichen Mittellauf mit seiner Salzflut erreichte, da begann die marine Periode des mitteleuropäischen Jurameeres.

Das Eindringen einer artenreichen Fauna in das von brackischen Randmeeren begrenzte Becken mußte sehr verschiedenartige Synusien erzeugen, und so bietet diese „rhätische" Übergangszeit viele stratigraphische Schwierigkeiten, aber trotz der wechselnden Fazies ermöglichen es passiv hereingetriebene Ammonitenschalen, die Horizonte zu gliedern. Bald war das neu entstandene Meeresbecken von so gleichmäßig gesalzenem Wasser bedeckt, daß auch die planktonischen Jugendformen zahlreicher Bodentiere hereinschwärmen und sich überall festsetzen konnten.

Wenn wir eine größere Schichtenfolge auf die phyletischen Beziehungen ihres Fossilgehaltes prüfen, so lassen sich darin zwei Gruppen von Fossilien leicht unterscheiden:

Die einen bewohnen längere Zeiträume hindurch den gleichen Lebensraum und in den vom Liegenden nach dem Hangenden sich überlagernden Gesteinen finden wir immer wieder dieselben Gattungen, zwar mit wechselnden Artcharakteren, aber doch in einer genetisch verständlichen Artfolge.

Diese endemischen, dauernden Bewohner des Lebensraums bestehen oft aus ganz verschiedenen Formen, die sich zu einer biologisch bedingten Synusie zusammengefunden haben und bilden jene Fossilien, die der sammelnde Geologe weniger beachtet, weil sie ihm nicht eine Gliederung der Schichtenfolge ermöglichen.

Aber mitten in dieser kontinuierlichen Folge bodenständigen Lebens tritt ihm immer wieder eine neue Lebewelt entgegen, die entweder kurzfristig erscheint, um dann rasch wieder zu verschwinden, oder mit der eine neue bodenständige Ahnenreihe beginnt.

Die innerhalb eines begrenzten Zeitraums auftretenden organischen Reste fallen als gute Leitfossilien besonders auf, und ihr Erscheinen ebenso wie ihr Verschwinden regt eine Fülle von biologischen Problemen an.

Die neuen Einwanderer, die dann bodenständig weiter gedeihen, lassen uns fragen, welche Umstände den plötzlichen Faunenwechsel bedingten.

Zur Untersuchung dieser Fragen können wir zunächst die Lebensweise der betreffenden Formen vergleichen. Oft wird der Gegensatz durch einen Wechsel des Mediums bedingt sein, denn eine Trockenlegung ehemaligen Meeresbodens wird natürlich mit dem Tod der Meeresfauna und dem Auftreten einer Landwelt verbunden sein, ebenso wie die

Überflutung eines Festlandes die dortige Lebewelt vernichtet und die Meereswelt ansiedelt.

Der Wechsel festländischer und mariner Faunen im Pariser Becken gab CUVIER Anlaß zu seiner Kataklysmentheorie und zu der Annahme, daß wiederholte Umgestaltungen des Erdganzen nach Art der biblischen Sintflut alle Landtiere vernichtet hätten und daß nach erneuter Trockenlegung eine Neuschöpfung von Leben erfolgt sein müsse, weil neue Gattungen mit neuen Arten als Siedler erschienen.

Wenn wir solche Profile aber als Ausschnitt aus dem Randgebiet eines, seine Grenzen beständig verschiebenden Lebensraumes betrachten und die scheinbar unvermittelte Überlagerung als den Ausschnitt einer randlichen Wechsellagerung ansehen, werden auch sie biologisch leicht verständlich.

In der Brandungszone können durch besondere klimatische Umstände vorher gebildete Sedimente wieder zerstört werden, die dann im Schichtenprofil das Bild einer diskordanten „Transgression" erwecken und wenn es sich vielleicht um ein Seebeben handelt, so weit verbreitet werden, daß der aufnehmende Geologe die Diskordanz als chronologischen Horizont verwenden kann:

Allbekannt sind die wundervollen Bilder lebender Korallenstöcke, die SAVILLE-KENT im Jahre 1893 auf Stone Island aufnahm und die seither in alle Lehrbücher übergegangen sind.

Im Jahre 1923, also 30 Jahre später, besuchte HEDLEY dieselbe Insel und stellte fest, daß alle Korallenstöcke bis auf ihre Wurzel zerstört waren. Es konnte die Lage der von SAVILLE-KENT abgebildeten Riffe genau festgelegt werden: die fast eingeebnete Fläche zeigte überall die Durchschnitte der abgewaschenen Korallenstöcke; die dazwischen liegenden Senken waren mit Kalksand ausgefüllt; kleine rote Spongien hatten sich in dem harten Kalkfels eingebohrt. Zahlreiche walnußgroße Chama hatten sich auf dem Felsenkalk festgesetzt, dazwischen fanden sich einige kleine Stöcke von Porites mayori und kleine Tridacnamuscheln; Holothurien lagen herum und Einsiedlerkrebse wanderten zwischen Seegräsern und Algenrasen, die sonst auf Korallenriffen fehlen.

Die Ursachen dieser lithologischen und biologischen Veränderungen des klassischen Riffgebietes waren leicht festzustellen:

Nach RAINFORD brachten zwei Zyklone im Januar 1918 so gewaltige Regengüsse, daß innerhalb einer Woche 35,7 Zoll fielen und das ganze Riffgebiet mit Süßwasser bedeckt wurde. Eine besonders tiefe Ebbe trat bald darauf bei Vollmond ein, so daß dies Riffgebiet nahezu trocken gelegt wurde und alle dort lebenden Organismen starben.

Daß die Bildung der bekannten Nigger heads, großer isolierter halbzerstörter Korallenblöcke, die sich über einer meist mit lebenden Korallen

45*

bewachsenen Fläche des Riffes bis über den Wasserspiegel erheben, auf ähnliche Katastrophen zurückzuführen sei, erscheint wohlverständlich.

Jedenfalls ist im Gebiet des großen Wallriffs in wenigen Tagen eine so gründliche Umgestaltung der gesamten Lebewelt eingetreten, daß als Folge derselben eine Chama-Bank diskordant über einer liegenden Korallenbank entstanden ist.

Viel häufiger als der Mediumwechsel ist ein Fazieswechsel die Ursache für das unvermittelte Erscheinen einer neuen Lebewelt inmitten der bodenständigen Synusien. Denn mit der Änderung des Gesteins ändert sich der Fossilgehalt.

Aber häufig begegnet uns ein weiterer Fall, indem mitten in einer langlebigen Fauna plötzlich ein charakteristisches Leitfossil erscheint und zeitweilig so weit verbreitet ist, daß der gliedernde Geologe sein ganzes Augenmerk darauf richtet, dieses Fossil aus seinen Lebensgenossen und seiner Umwelt herauszuschälen und es zur Charakterform des betreffenden Horizontes zu machen.

Diese merkwürdige Erscheinung tritt uns zuerst bei den silurischen Graptolithen entgegen, dann aber im weiteren Verlauf der Erdgeschichte gewinnen die gekammerten Cephalopodenschalen führende Bedeutung. Wir haben mehrfach auseinandergesetzt, daß dieses unvermittelte und zonenhaft über weite Flächen ausgedehnte Auftreten von Goniatiten oder Ammoniten, ebenso wie ihr rasches Verschwinden aus bestimmten Horizonten, nicht mit ihrer „Lebensweise" zusammenhängt. Denn die große Formenmannigfaltigkeit verzierter und glatter, runder und diskusartiger, involuter oder evoluter Schalen läßt uns erkennen, wie vielgestaltig die Cephalopoden der Vorzeit lebten; wie die einen als nektonische Schwimmer, die andern als benthonische Bodentiere, über oder im Sediment sich bewegten, und wie viele Formen mit verengter Mündung oder absonderlich gewickeltem Gehäuse wahrscheinlich gar nicht mehr die Schutzhülle des Tieres waren, sondern von den Weichteilen umhüllt wurden.

Aber alle diese Formen hatten in ihrer geologischen Verbreitung das gemeinsam, daß ihre Schalen nach dem Tode des Tieres zur Wasseroberfläche emporstiegen und bald kurze, bald längere Zeit, wie die rezenten Nautilus- oder Spinalgehäuse, ein Spiel der Wellen und Strömungen wurden. Postmortale Vorgänge und nicht Lebensgewohnheiten bedingten also das unvermittelte Auftreten solcher Schalen und ihr oft ebenso merkwürdiges Verschwinden aus einer fortlaufenden Schichtenfolge.

Das rein biologische Problem des plötzlichen Auftretens von Meerestieren wird aber auch noch durch einen andern Vorgang bedingt, nämlich durch jede Änderung im Salzgehalt des Wassers. Die meisten Meerestiere sind stenohalin, d. h., ihre ungeschützten Gewebe reagieren auf jede Änderung der osmotischen Vorgänge. Eine Aussüßung des See-

wassers können nur wenige euryhaline Formen vertragen, und so bildet die Grenze des Brackwassers eine unübersteigliche Schranke für ihre Verbreitung.

Nun wird aber diese Grenze in jedem großen Ästuarium ebenso wie in jedem von großen Flüssen erreichten Nebenmeer im Wechsel der Jahreszeiten und durch unperiodisch einsetzende Klimaveränderungen beständig verlagert. Senkungen des Meeresbodens, Auffüllung des Wasserbeckens mit neuen Sedimenten, Oszillationen des Strandes, ja sogar ein starker Sturm verlagern hier beständig die Grenze zwischen Gewässern von verschiedenem spezifischen Gewicht. Diese rein festländisch bedingten kleinen Klimaänderungen und lithologischen Vorgänge wirken also verändernd auf den Faunengehalt der hier nacheinander gebildeten Schichten, und so sehen wir oft innerhalb einer gleichartigen Schichtenfolge plötzlich einen Faunenwechsel. Das Auftreten mariner Horizonte im Wechselgebiet paralischer Karbonschichten ist ein bekanntes Beispiel für diese Vorgänge.

Aber das Problem biologischer Transgressionen weitet sich, wenn wir solche Fälle ins Auge fassen, wo ganze Kontinente gleichzeitig vom Meere überflutet werden. An solche Tatsachen knüpften v. Richthofen und E. Suess an, als sie den Versuch unternahmen, solche Fälle weitreichender erdgeschichtlicher Umgestaltungen, wie die unterdevonische, unterpermische oder die cenomane Transgression biologisch und lithologisch zu erklären.

Obwohl hierbei eine ganze Anzahl verschiedenartiger Vorgänge miteinander verknüpft sind, versuchte man sie zunächst monodynamisch zu deuten, und so entstand die Lehre von der „regionalen Abrasion", die heute zwar in ihrer grundsätzlichen Bedeutung aufgegeben, aber doch noch immer vielen paläogeographischen Erörterungen und Darstellungen zugrunde liegt. Es muß daher unsere erste Aufgabe sein, die beobachteten Tatsachen einer solchen diskordanten Überlagerung aus dem Rankenwerk erklärender Hypothesen freizulegen:

Wir beobachten in solchen Fällen, daß auf einem älteren gefalteten oder gebrochenen und abgetragenen Grundgebirge diskordant eine neue Schichtenfolge lagert, die in der Regel weit über die vorherigen Grenzen des marinen Bildungsraumes hinausgreift.

Wir sehen dann folgende Vorgänge chronologisch miteinander verbunden:

1. Trockenlegung ehemaligen Meeresbodens,
2. Verhärtung der darauf gebildeten Sedimente,
3. Tektonische Störung des älteren Schichtenstoßes,
4. Teilweise Abtragung seines Hangenden,
5. Hereinbrechen des Meeres und
6. Ablagerung einer neuen konkordanten Schichtenfolge.

Die älteren Geologen sahen in diesen, im Profil zusammengedrängten Vorgängen eine einheitliche Erscheinung und beruhigten sich durch das vieldeutige Wort „Transgression", indem sie dem Ozean allein die Wunderkraft zuschoben, so verschiedenartige, zum Teil sich völlig widerstrebende Erscheinungen zu bewirken.

Noch heute nehmen viele Geologen an, daß dasselbe Meer, dessen Sedimente sie übergreifend auf älteren ungestörten oder gefalteten Schichten liegen sehen, die fehlenden Gesteine durch Abrasion entfernt und die Unterlage der neuen Schichtenreihe eingeebnet habe; glauben, daß der Strand hierbei linear vorwärts schritt, so daß in regelmäßigen Abständen von dem ursprünglichen Meeresufer jedesmal eine jüngere Schicht mit einer jüngeren Fauna in zonaren Bändern übergreifend verteilt ist.

Auf das Beispiel des deutschen Zechsteinmeeres übertragen, müßte also der ganze Faltenbau des varistischen Gebirges durch ein unterpermisches Meer schrittweise abgetragen und dann aus seinen Zerstörungsprodukten zunächst die Gesteine des unteren, dann weiterhin des mittleren und endlich des oberen Zechsteins umgearbeitet worden sein. Wir müßten über die Fläche von Deutschland von Ost nach West die gewaltigen Trümmermassen, die aus der Zerstörung des älteren Gebirges entstanden, mit einer schrittweise sich ändernden Fauna bis an den Rand des rheinisch-französischen Festlandes verbreitet sehen.

Wir wissen, daß eine solche Annahme durch die Tatsachen nicht gerechtfertigt wird. Die Zechsteinablagerungen enthalten zwar in dem (irreführend als „Konglomerat" bezeichneten) Liegenden eine Menge Scherben aus dem Grundgebirge, aber diese stammen aus dem Liegenden und sind verkittet durch organische Kalk- resp. Dolomitgesteine. Dann beginnt eine neue Gesteinsfolge und vom Faul-Schlamm des Kupferschiefers bis zu den oberen Letten überwiegen in der ganzen oberpermischen Schichtenfolge organische Sedimente und chemische Niederschläge ohne grobklastische Beimengungen.

Auch die Verteilung der Fauna stimmt absolut nicht mit jenen hypothetischen Forderungen überein. Denn sie ist einheitlich zusammengesetzt und ändert sich nicht im Streichen, sondern nach faziellen Rücksichten und nach denselben Regeln stratigraphischer Zonenfolge, die wir auch im Schichtenbau eines ruhenden, nicht transgredierenden Meeres beobachten.

So müssen wir also das Problem der übergreifenden Lagerung des Zechsteins gliedern und in seine verschiedenen dynamischen Elemente zerlegen:

Eine Lücke in der paläontologischen Urkunde zeigt uns auch hier, wie groß der Zeitraum zwischen der letzten hangenden Schicht im Liegenden und der untersten liegenden Schicht im Hangenden der diskordanten Trennungsfuge war. In Mitteldeutschland fehlt zwischen dem

gefalteten Kulm und dem übergreifenden Zechstein das ganze Oberkarbon und Unterperm, und während in diesem Zeitraum im Westen und Osten bis 7000 m Gesteine gebildet wurden, erzeugte festländische Abtragung die Bildung jener Rumpfebene, auf der sich das Zechsteinmeer ausbreiten konnte. Die auf dem, durch festländische Verwitterung und Abtragung eingeebneten, Felsengrund noch herumliegenden Gerölle und Felsstücke wurden in den Schlamm des herandringenden Meeres aufgenommen, aber die Hauptmasse des Zechstein-Kalkes entstand durch organische Kräfte.

Wenn wir das Eindringen eines Meeres in ein bis dahin festländisches Gebiet recht verstehen wollen, so müssen wir uns erinnern, daß die vadosen Gewässer, die sich als Fluß, als See oder Meeresspiegel außerhalb der Erdrinde bewegen, auf einer wassergetränkten Unterlage liegen, die wir als „Lithose" bezeichnen. Sobald ein durch lang andauernde Verwitterung und Abtragung in eine tiefliegende Rumpffläche (Fastebene) verwandeltes Festland um einen geringen Betrag sinkt, dann muß überall das Grundwasser in kleinen und großen Seen zutage treten, in denen die jeweilige Flora ihre wasserliebenden Formen einwandern läßt und moderreiche Sümpfe bildet, die später als bituminöse Schichten oder sogar als kleine Kohlenflöze dem Profil eingeschaltet sind. Darauf wird das salzige Meerwasser in den Rinnen großer Flüsse weit ins Land hineindringen und alle jene Sümpfe und Grundwasserseen so rasch versalzen, daß diese limnischen Sumpfgewächse sterben und nach kurzer Zeit nur vereinzelte bewachsene Klippen und Inseln aus der weit überschwemmten Meeresfläche emporragen. An ihnen arbeitet jetzt die Abrasion, greift sie von allen Seiten an und vollendet ihre Einebnung.

So beginnt grundsätzlich jede Transgression mit einer Senkung des Festlandes, mit einem Ansteigen des Grundwasserspiegels über die Oberkante der Lithosphäre und mit einer „Kohlenbildung", und es hängt ganz von den klimatischen Umständen, besonders vom Kreislauf des Wassers dort ab, welche lithologische Schichtenfolge sich darüber bildet.

Ist die Gegend regenarm, dann wird eine Oasenflora bestrebt sein, den neu gebildeten Binnensee zu besiedeln und mit ihrem Moder zu erfüllen. Geht dann die Senkung weiter, so daß die Grenzregion gegen das Weltmeer mitsinkt, dann erfüllt sich der salinische See mit Ozeanwasser und dieses breitet seine Meeresfauna über eine salinische Wasserwelt aus.

Es ist aus allgemein geologischen Gründen verständlich, daß in der Regel nur das flache Randgebiet eines größeren Festlandes vom Meere überflutet wird, und wie dieses zuerst alle vorhandenen Senken und Rinnen erfüllt, zeigt das erste Auftreten der Zechsteinfauna in Deutschland als besonders lehrreiches Beispiel.

Nachdem lange Perioden hindurch Deutschland Meeresboden gewesen war, trat an Stelle des einstigen Meeres ein Gebirgsland, das in

Belgien wie in Schlesien und den heutigen Ostalpen vom Meere bespült wurde. Obwohl das Karbonmeer in schmalen Buchten mehrfach in das Inselland hineindrang, so wurde doch seine Fauna immer wieder vernichtet, und während der unteren Permzeit gab es in Deutschland kein marines Salzwasser mehr.

Dann drang aus dem nördlichen Rußland das Meer herein und brachte eine dort weitverbreitete Fauna mit sich. Productus Cancrini bezeichnet diese erste Einwanderung. Obwohl der unterste Zechstein durch zahlreiche Aufschlüsse sehr sorgfältig untersucht worden ist, fand sich die „Cancrinifauna“ bisher doch nur in der Schiefergasse bei Gera und nahe bei Eisenach.

Man stelle sich vor, daß Norddeutschland in einer Senkung begriffen wäre und gleichzeitig infolge einer Klimaänderung die Regen menge sich verminderte, dann würden Rhein, Weser und Elbe nicht mehr bis zum Meere fließen, sondern nach Art der südwestafrikanischen „Riviere“ in ihrem Unterlauf mehrere Jahre trocken liegen und nur in besonders regenreichen Zeiten für kurze Tage oder Wochen „abkommen“.

So überflutete also das nordische Zechsteinmeer Deutschland nicht etwa gleich anfangs in breiter Fläche, sondern nur im geröllreichen Bett einiger breiter (Uadi-)Flußrinnen. Hätte damals schon das heutige Flußnetz existiert, so würde die Nordsee mit ihrer Fauna bis Bonn (47 m), Minden (45 m), Magdeburg (41 m) in die Flußrinnen gedrungen sein, während der größte Teil des dazwischenliegenden Landes eine trockene Sandwüste bildete. Die Vorposten des transgredierenden Meeres starben bald wieder aus und werden daher nur an wenigen Fundorten beobachtet.

Nach dieser marinen Episode änderten sich die geographischen Umstände in der Weise, daß sich jetzt über die später vom marinen Zechstein bedeckte Fläche der sogenannte Kupferschiefer ausbreitet. Seine dünnschichtige Ablagerung von 10 bis 60 cm Mächtigkeit enhält 10 bis 20 % Kohlenstoff und Bitumen in einer tonigen Grundlage, so daß man ihn auch als eine sehr unreine Kohle bezeichnen darf.

Die Cancrinifauna fehlt im Kupferschiefer vollständig, aber auch die Reste echter Meerestiere kommen nur vereinzelt vor. Dafür ist er erfüllt mit Tausenden von Palaeoniscus und Platysomus. Die Vorfahren dieser nahe miteinander verwandten Ganoidfische findet man schon in den Süßwasserablagerungen der englischen Steinkohlenformation. Einige Skelette von Reptilien erinnern an ihre im Schlamm rotliegender Süßwasserseen gefundenen Ahnen; einige vereinzelte Funde von marinen Haien dürfen wohl als absterbende Relikte aus der Cancrinizeit aufgefaßt werden.

Etwas häufiger ist Lingula Credneri, die während der ganzen Zechsteinzeit alle Schwankungen des Salzgehaltes überdauert hat.

Der Kohlengehalt des Kupferschiefers weist auf Pflanzenmoder hin; gelegentlich finden sich Zweige von Ullmannia, und viele Pollen.

Der Erzgehalt des Kupferschiefers ist am Ostrand des Harzes am bedeutendsten, nimmt aber bereits bei Sangerhausen so ab, daß der Schiefer nicht mehr bauwürdig ist; in Thüringen enthält der Kupferschiefer stellenweise beträchtliche Mengen von Bleiglanz und Fahlerz woraus wir schließen müssen, daß vom S. andere Metallösungen in das flache Becken flossen und darin ausgeschieden wurden.

In der Mansfelder Mulde gleitet er vielfach über flache weiße Sandhügel (Weißliegendes) hinweg, welche bis 50 m breit und 8 m hoch sind und von Meinecke als ehemalige Sanddünen angesprochen werden.

Der Erzgehalt des Kupferschiefers dürfte unter folgenden Voraussetzungen verständlich werden: Harz, Frankenwald, Erzgebirge und Rheinisches Schiefergebirge umgaben als bergige Uferländer ein weites Becken und waren so weit abgetragen, daß die bei dem Aufdringen der Granite darin entstandenen Erzgänge durch Verwitterung und Abtragung zutage traten. Wenn man annimmt, daß das Kupfererzlager des Rammelsberges bei Goslar in seinem damals abgetragenen oberen Faltenflügel ebensoviel Kupfererze enthielt, wie noch anstehend im Rammelsberg enthalten sind, dann würde diese Masse schon fast hinreichen, um den Kupfergehalt der Mansfelder Mulde zu erklären.

Aber im Vergleich mit der gleichzeitig im offenen Meere lebenden Fauna, die uns in reicher Ausbildung in den Alpen, Rußland, Sizilien, Armenien und Indien erhalten wurde, ist die Fauna des deutschen Zechsteins überaus artenarm. Keiner der dort so häufigen Ammoniten vermochte hineinzudringen, und alles deutet auf ein abnorm gesalzenes Wasserbecken.

Die Kupferschieferbildung ist nicht der erste Fall des Auftretens von fein verteiltem Erz in permischen Gesteinen. Vielmehr beobachteten wir bereits im mittleren Rotliegenden von Thüringen (wie bei Goldlauter u. a. O.) erzhaltige Schiefertone.

Wenn schon hier Bäche aus den Vulkanbergen, mit Spuren von Metallverbindungen beladen, in ein kleines Süßwasserbecken hineinflossen und ihr Erzgehalt durch verwesende Tier- und Pflanzenreste ausgeschieden wurde, dann mußte derselbe Vorgang in viel größerem Maße in dem Kupferschiefersee erfolgen, wenn drei Bedingungen erfüllt waren:

1. ein geringerer Metallgehalt der einströmenden Bäche,
2. stagnierendes, nicht nach dem offenen Meere ausströmendes Wasser,
3. faulende und verwesende organische Reste im Seeschlamm.

Dementsprechend nehmen wir an, daß das deutsche Zechsteinbecken nach dem Eindringen des Meeres gegen den Ozean wieder abgeschlossen wurde. Bis zu einer Höhe, welche den Gipfel 8 m hoher Sanddünen

überstieg, breitete sich dann eine brackische Seefläche aus, in welcher Schwärme von schmelzschuppigen Fischen lebten. Sobald der Wasserzufluß vom Lande her wieder geringer wurde, so daß der Schlamm des fast zufluß- und abflußlosen Sees sich zersetzen mußte, wurde das Wasser auch für die Fische verderblich, und ihre Leichen sanken mit den vermoderten Algen und dem Metallgehalt zu Boden.

Unter solchen Umständen mußte zuerst die junge Fischbrut sterben, daher ist es kein Wunder, daß unter den vielen Tausenden von mittelgroßen Palaeoniscus kleine Formen fast fehlen.

Nach Ablagerung dieser schwarzen Moderschicht öffnete sich wieder die russische Pforte, und abermals drang das Meer herein. Aber es war nicht mehr die Fauna mit Productus Cancrini, welche vorher in die Flußrinnen eingewandert war, sondern normal gesalzenes Seewasser durchflutete jetzt im offenen Austausch das ganze, noch eben von faulendem Brackwasser erfüllte Becken, und eine artenreiche Meeresfauna, gekennzeichnet durch Productus horridus, siedelte sich überall an.

Auch die cenomane Transgression des Kreidemeeres beginnt in Sachsen und Böhmen, wie Schander ausgeführt hat, mit einer Senkung und Versumpfung des vorher hier bestehenden Festlandes.

Die Syenitgerölle im Liegenden der fossilreichen Kalke sind nicht von dem heranbrandenden Meere abradiert worden, sondern füllten die Flußbetten der unterkretazischen Ströme, in die der Ozean zuerst hineindrang. Die pflanzenreiche Credneria-Zone mit ihren kleinen unreinen Kohlenflözen finden in den böhmischen Perutzer Schichten eine lithologische Parallele.

So begegnen uns immer wieder an der Basis transgredierender Meeresschichten die Symptome einer allgemeinen Senkung des Landes, einer Übertiefung einzelner Strecken und einer Besiedlung dieser Sumpfgebiete mit der jeweilig dort wachsenden Flora.

Ein häufiger Fall ist es, daß auf einer festländisch entstandenen Rumpffläche oder auf festländischen Ablagerungen übergreifend festländische Gesteine ruhen. Wir wissen heute, daß die abflußlosen Gebiete in den beiden Wüstengürteln der Gegenwart und vielleicht noch größere Regionen in den Urwüsten der Altzeit, ebenso wie ihre, von einem antinomen Klima beherrschten Randgebiete, Regionen intensiver Gesteinsbildung sind, daß hier wohlgeschichtete oder massige Trümmergesteine und Niederschläge entstehen, die früher für marin gehalten wurden, obwohl sie nicht jene artenreichen Synusien enthalten, die für Meeresablagerungen bezeichnend sind.

Nirgends sind die Bedingungen für die Verlagerung des Bildungsraumes von Konglomeraten, Arkosen, Sandsteinen, bunten Letten, kohligen Sumpfgesteinen, chemisch gebildetem Kalk, Dolomit, Kiesel, Gips oder Salz so günstig, und so werden wir im Faziesgebiet der Wüste nicht

nur viele kleine, sondern auch große Diskordanzen und weitreichende übergreifende Lagerungen beobachten. Die Diskordanzen im nordischen Oldred oder im germanischen Rotliegenden bieten ausgezeichnete Beispiele für **aride Transgressionen**. Das Wandern der Endseen und Trockenseen; die Bewegungen der Flüsse unter dem Einfluß des Baer'schen Stromgesetzes mitten durch Sandmeere und Tonwüsten; die durch klimatische Ursachen bedingte Änderung in der Länge der versiegenden Ströme, die sich bald viele Kilometer zurückziehen, um nach gelegentlichen Wetterstürzen mit ihren schlammigen Fluten weit in die trockene Wüste hineinzudringen; das Wandern der Sandmeere unter dem Einfluß von Gegenwinden und die mannigfachen Wirkungen, die mit der Verlagerung der Wasserscheiden verbunden sind, erzeugen ebenfalls viele Ursachen für **festländische Transgressionen und Regressionen**.

Während alle mit der Bewegung und Verlagerung der Flüsse und Seen verbundenen Transgressionen innerhalb des einzelnen Flußgebietes immer nur von der Höhe nach der Tiefe erfolgen können, ist die **Transgression der Sandmeere** von der topographischen Höhe unabhängig. Die libyschen Sanddünen wandern auf das 400 m hohe libysche Plateau hinauf, gleiten dann 300 m tief in die riesigen Oasengruben hinab, um gegen Nubien wiederum beträchtliche Höhen zu erklettern. So dürfen wir auch äolische Sandsteine in ursprünglich verschiedenen Höhen erwarten.

Man hat schon längst erkannt, daß innerhalb solcher Ablagerungen, die wir heute als Bildungen abflußloser Gebiete betrachten, sogenannte „Stranderscheinungen“, d. h. Wirkungen abwechselnder Überflutung und Abtrocknung weit verbreitet sind. Geschichtete Lettenlagen zwischen Sandsteinen, Trockenrisse und Netzleisten, Rippelmarken und Fährten sind für solche Gesteine bezeichnend.

Wenn in einem im allgemeinen regenarmen Wüstenlande einer jener seltenen Wolkenbrüche herniederstürzt, dann ergießen sich riesige Massen von Geröll und dicke Schichten von Sand und Schlammbrei weit über das abgetragene oder schuttbedeckte Land. Große Flächen werden zu periodischen Seen und jeder Teil dieses vorübergehenden Seebodens war hierbei einmal „Strand“. Dann trocknet die heiße Sonne den flachen Seespiegel ein, und indem er zusammenschrumpft, wird wiederum jeder Fußbreit des Seebodens zum „Strand“. Es wandern Dünen über die trockene Ebene und nach Jahren wiederholt sich die sintflutartige Katastrophe. So werden „Strandgebilde“ von verblüffender Mächtigkeit übereinandergeschichtet, und dieser Vorgang vollzieht sich meist fern vom Meeresspiegel in beliebiger Höhe über diesem.

Aber viele aride Wüsten liegen nahe dem Meeresspiegel in der Nähe des Weltmeeres. Dann kann auch dieses mit seinen Sedimenten und seiner Fauna auf den sandigen oder tonigen Wüstenboden treten, der, ungegliedert wie der Meeresgrund, auf hunderte von Meilen sofort überflutet

wird. Eine kurze Zeitspanne hindurch lebt die Meeresfauna auf ehemaligem Wüstengrunde, paßt sich durch neue Arten den Bedingungen großer Reliktenseen an, dann stirbt sie aus und wieder wandern die Sanddünen oder der salzige Wüstenton über die marine Zwischenschicht.

Alle diese Vorgänge sind mit übergreifender Lagerung verbunden und müssen bei der Erklärung diskordanter Profile berücksichtigt werden.

Wenn in einem Profil mariner Schichten die Bildung neuer Sedimente aufhört oder die marinen Fossilien verschwinden, so deutet man dies als einen Rückzug des Meeres und spricht von einer Regression. Schon Grabau hat darauf hingewiesen, daß diese einfache Formel der großen Mannigfaltigkeit geologischer Umstände, die zu jenen Wirkungen führen, nicht gerecht wird, und eine einfache Überlegung zeigt uns, daß die Vorgänge, die zu einem Abschluß mariner Sedimentation oder dem Verschwinden mariner Fossilien führen, auf sehr verschiedenartigen Kausalreihen beruhen.

Wiederum müssen wir in den Vordergrund stellen, daß Ablagerungen ebenso auf dem Festlande wie am Meeresgrund gebildet werden.

Der Bildungsraum einer Ablagerung wird von Grenzen umgeben, die beständig oszillieren und wie hierdurch zahlreiche kleine Transgressionen entstehen, so erfolgen ebenso häufige randliche Rückzüge. In der Regel wird hierbei die benachbarte Fazies vorrücken und so kommt es zur Wechsellagerung zweier Gesteine. Erfolgt aber die Verlagerung des Bildungsraumes nur einseitig in einer bestimmten Richtung, dann sehen wir an der bewegten Front die Schichten übergreifen, während in deren Rücken, sofern nicht benachbarte Fazies nachrücken, eine Sedimentlücke entstehen kann.

Indem man diese Vorgänge auf die allgemeine Bewegung eines reichbesiedelten Meeres übertrug, ergab sich die Vorstellung, daß die Flächen der Transgression ebenso groß sein müßten, wie diejenigen gleichzeitiger Regressionen.

Aber bei diesen Folgerungen geht man von der Voraussetzung aus, daß ein gleichmäßig tiefer Ozean die Erdkugel umspanne. Alle Folgerungen ändern sich, sobald wir erwägen, daß im Laufe der Erdgeschichte tiefe Becken entstanden sind, in denen der größere Teil der Hydrosphäre als Tiefsee gesammelt wurde. Nach unserer Überzeugung wurden die heutigen Tiefseebecken erst seit der Altzeit angelegt und die Gebiete, die durch so starke Senkung einmal mehrere Kilometer tief unter das mittlere Niveau der Erdoberfläche gesunken sind, können zwar durch tektonische Spannung langsam auf und ab gewölbt werden, aber diese Spannkraft ist nicht im Stande, große Flächen des Tiefseebodens mit der daraufruhenden Wasserlast wieder zum Tageslicht emporzubewegen. Wohl mögen einzelne Horsträuder oder Klippen hier und da aus der dunklen

Tiefe emporgepreßt werden — im ganzen aber bleibt Tiefsee, was einmal Tiefsee geworden ist.

So lange die Tiefseebecken am Schluß der Altzeit noch nicht entstanden waren, mußten die wichtigsten Bewegungen der Hydrosphäre darin bestehen, daß sich diese dünne Wasserhaut in buntem Wechsel transgredierend und regredierend über die unebene Erdoberfläche hinwegbewegte und für diese älteren Zeiten mag der Satz gelten, daß die Flächen der Transgression den Flächen gleichzeitiger Regression nahezu entsprachen.

Seitdem aber die abyssalen Becken so tief gesunken sind, daß über ihnen 3—6000 m Wasser stehen und so gewachsen sind, daß sie jetzt die Hälfte der Erdkugel einnehmen. so daß nur ein Drittel derselben als Festland über den Wasserspiegel ragt, mußten auch die Transgressionen und Regressionen andere Formen annehmen. Jetzt genügt zwar eine Aufwölbung des Tiefseebodens um wenige hundert Meter, um das Meer aus seinen Ufern zu treiben und das flache Küstengelände weithin zu bedecken; wenn aber die submarine, flache Falte zurück-ebbt, dann wird die überflutete Küstenzone wieder trockengelegt.

Wir dürfen auch nicht vergessen, daß in dem Grenzgebiet zwischen den heutigen Kontinenten und den großen Tiefseebecken sehr merkwürdige tektonische Bewegungen erfolgen, die zur Bildung der halbgeschlossenen kleinen und großen Becken oder Nebenmeere führen. Die lange Kette solcher Becken, die von Kamschatka an der ostasiatischen Küste entlang, über den Sundaarchipel nach den Molukken und Australien reicht, die kleinen und großen Senken, die hier zwischen untermeerischen Rücken und vielgestaltigen Inselzügen auftreten, und die durch Riesenströme, gewaltige Vulkanausbrüche und ausgedehnte Korallenriffe zugefüllt werden, gehören wohl zu den lehrreichsten Erscheinungen für die Beurteilung dieser Probleme. Wie grundverschieden sind diese Meeresteile von den Küsten Amerikas oder Afrikas? Europa bietet nur im Ostseebecken, Mittelamerika wenigstens nach der atlantischen Seite eine entsprechende Parallele.

Grundverschiedene lithologische und biologische Zustände sehen wir in den trocken liegenden oder wassererfüllten Depressionen des ariden Klimagebietes. Sie sind zwar ebenfalls der Bildungsraum geschichteter Gesteine und der Lebensraum wasseratmender Organismen, aber sie sind nicht marin, denn z. B. die große Senke, in welcher der abflußlose Kaspisee, der Aral und Balkasch liegen, gehört zum Gebiet des Festlandes.

Jedenfalls machen uns die mannigfaltigen ozeanographischen, lithologischen und biologischen Umstände dieser Nebenmeere am besten verständlich, wie in der Altzeit unter dem Einfluß tektonischer Bewegungen und lithologischer Abtragung und Auflagerung kleine und große Transgressionen und Regressionen um die ganze Erde herum erfolgen konnten, die seit Anlage der großen Tiefseebecken nicht mehr möglich sind.

Unter der Annahme, daß sich das Volumen der Hydrosphäre nicht änderte, mußten aber ihre Grenzen nicht nur durch tektonische Bewegungen des Meeresgrundes, sondern auch durch die Zufüllung einzelner Becken beeinflußt werden. Wenn in der Oldredzeit riesige Sandmassen aus dem nordischen Kontinent in das benachbarte Meer getragen wurden, wenn in der Oberkarbonzeit die Verwitterungsprodukte gewaltiger Kettengebirge die europäischen Nebenmeere zuschütteten, dann wurde das Seewasser verdrängt und mußte aus seinen früheren Grenzen heraustreten. Marine Vulkane und selbst organische Riffkalke mußten dieselbe Wirkung haben.

Aber auch große Schneezeiten mußten die Menge des vadosen flüssigen Wassers verändern; denn während jeder „Eiszeit" entstanden Regressionen, denen interglaziale Ingressionen folgen mußten.

Die Verlandung eines ehemaligen Meeresbeckens war oftmals dadurch bedingt, daß es vom Weltmeer abgetrennt wurde und seine Wassermenge unter dem Einfluß des Wüstenklimas verdampfte.

Das großartigste Beispiel, das uns die Erdgeschichte dafür bietet, ist die Zechsteinzeit. Denn nachdem der größere Teil von Nordeuropa vom Ural bis nach Belgien und England und südlich bis Heidelberg durch das Meer überflutet worden war und eine durchschnittlich 100 m mächtige Salzwasserschicht diese riesige Fläche bedeckte, wurde ihr Austausch mit den Lösungen des offenen Meeres unterbrochen und die Verdampfung des Wassers senkte dessen Spiegel.

Die erste Wirkung dieses Vorganges war eine beständige Einengung der von der Salzlösung bedeckten Fläche. Weite Ufergebiete des Salzsees trockneten ab; der im Uferschlamm noch enthaltene Salzgehalt wurde durch Regen ausgelaugt und immer wieder nach den mittleren Salzseen geführt. Die Salze würden sich in mittlerer Mächtigkeit über eine noch größere Fläche ausgeschieden haben, wenn nicht zwischen Franken und Holstein einige Senkungsgebiete entstanden wären, welche alle Salzlösungen sammelten und auf einem, zur Fläche des ursprünglichen Meeres verhältnismäßig sehr kleinen Raume vereint hätten. Hier entstanden also die mächtigen Salzlagerstätten, während auf der übrigen Fläche nur kleinere Niederschläge erfolgten.

Wenn in diesem Fall die ganze harmonische Salzfolge zur Ausscheidung kam und durch Überwehung mit wasserundurchlässigem Tonstaub erhalten wurde, so kennen wir doch auch solche Fälle, in denen das Salzprofil unvollständig ist, und wo nach der Ausscheidung des Kalksulphats der lithologische Vorgang beendet wurde oder wenigstens, wie im süddeutschen Muschelkalk, über dem Steinsalz die Edelsalze fehlen. Die Ursache für eine solche Unterbrechung der Ausscheidungsfolge könnte darin liegen, daß wandernde Sanddünen den Salzsee überschreiten, die noch vorhandenen Mutterlaugen absaugen und beim Weiterwandern mit sich nehmen. Es kann auch durch Änderung des Geländes die Fläche

des Salzsees verlagert werden. Die von Sv. v. HEDIN untersuchten Seen Innerasiens mit ihrem so wechselnder Salzgehalt bieten zahlreiche Beispiele für derartige Vorgänge.

Nur ein trocknes Wüstenklima ist imstande, einen vom Meere abgegliederten Salzsee einzudampfen und in seiner ganzen Fläche zu verlanden und nur in der ariden Zone können sich jene seltsamen Wüstenhaffe und Salzbuchten bilden, welche kleine Lager von Gips und Salz erzeugen. Von den Salzkrusten, die nach einem größeren Sturm aus den über den Strand getriebenen Fluten entstehen, bis zu den Salzen, die aus dem Kaspi durch die Karabugas-Pforte in den Adschidarja einströmen, vermitteln viele Übergänge.

Sehr häufig ist der Fall eingetreten, daß ein Meeresbecken durch neugebildete Ablagerungen so lange zugefüllt wird, bis diese den Meeresspiegel erreichen und marine Wassertiere auf ihrer Oberschicht nicht mehr leben können. Auch hierbei wirken oft ganz verschiedene Umstände in demselben Sinne:

Die Menge der von einem Fluß ins Meer getragenen Sedimente ist abhängig von der Lage seiner Wasserscheide, von der Menge des hier zur Verfrachtung bereiten Verwitterungsschuttes und von seinem Gefälle. Ändert sich eines dieser Elemente, dann äußert sich dies sofort in dem Charakter und der Menge des im nahen Meere gebildeten Sedimentes. Sobald ein Flußgebiet durch Angliederung von Nachbarflüssen vergrößert wird, sobald in demselben tektonische Störungen auftreten und Gebirgsfalten emporsteigen, vermehrt sich leicht die Menge der Flußtrübe und die Ausdehnung des daraus entstehenden Deltagebietes. Wenn tiefgründig verwitterte Gesteine durch Erdbeben erschüttert oder infolge von Klimawechsel von schützenden Vegetationsdecken entblößt werden, steigert sich die Fracht der Flüsse ins Ungeheure.

Der Zufüllung eines Meeresbeckens durch fließendes Wasser steht die durch Gletscher ebenbürtig zur Seite. Interglaziale Abschmelzperioden bedingen eine stärkere Moränenbildung. Erdbeben die den Schnee in den Firnfeldern zusammentragen und den Felsenuntergrund zerrütten, steigern die Abtragung durch Exaration.

Sobald in einem durch Gegenwinde entstandenen „Sandmeere“ die eine der sich die Wage haltenden Windrichtungen geringer wird, bewegen sich die Sandmassen nach dieser Richtung, erreichen endlich das Meer und tauchen darin unter.

In derselben Weise wirken organische Ablagerungen zufüllend und verlandend. Die Gesteinsfolge des Süddeutschen Jura läßt deutlich erkennen, wie die anorganischen Trümmer allmählich durch organischen Kalk ersetzt werden, wie große Kalkriffe emporwachsen, in flachen Lagunen Plattenkalke entstehen und diagonal geschichtete Dünen über den

Wasserspiegel emporragen. Nur an wenigen Stellen zeigen die „Zementmergel“, daß noch einige Flüsse anorganischen Schlamm ins Meer trugen. Daß auch marine Vulkane in ganz entsprechender Weise kleine und große Meeresbecken ausfüllen und das Seewasser verdrängen können, bedarf keiner Schilderung.

Die biologischen Wirkungen einer regredierenden Verlandung, soweit sie uns im Fossilgehalt der dabei gebildeten Gesteine entgegentreten, äußern sich darin, daß die im Liegenden artenreiche Meeresfauna allmählich verarmt und daß sich festländische Pflanzen- und Tierreste oft in großer Individuenzahl ihr beimengen. Denn alle über den Meeresspiegel sich hebenden Teile bilden Standorte, auf denen leicht Samen von Pflanzen angetrieben und Tiere angesiedelt werden, die am nahen oder fernen Festland verbreitet waren. Großer Fazieswechsel und Mannigfaltigkeit der Fauna sind ja für alle solche Vorgänge bezeichnend.

Beim Beginn wie am Ende einer marinen Bildungszeit bildet sich ein Gewirr von Inseln, die zunächst als Untiefen, dann als Archipel über den Wasserspiegel emportauchen, sich allmählich zusammenfügen und zuletzt die Leitlinien der neuentstehenden Flußsysteme anlegen.

Damit aber wird die betreffende Fläche dem Reich der Wasseratmer entzogen, statt der einheitlichen Umwelt der Hydrosphäre tritt die Atmosphäre mit ihren solaren Klimazonen in den Vordergrund und diese bestimmen fortan die. Schicksale der neueinwandernden Ansiedler eines neuen Lebensreiches.

Wenn wir zum Schluß diese transgredierenden und regredierenden Bewegungen des Meeres vom biologischen Standpunkt aus betrachten und in größere Gruppen einteilen sollen, so lassen sich folgende Erscheinungen zusammenfassen:

1. Das Auftreten einer neuen Synusie ist in der Regel verknüpft mit einem Gesteinswechsel, und da wir das fossilführende Gestein als den Standort der darin eingeschlossenen bodenständigen Lebewelt betrachten, ist ein solcher Wechsel des Fossilgehalts die Folge eines Wechsels in den lithogenetischen Umständen.

2. In anderen Fällen ändert sich der Fossilgehalt ohne wesentlichen Gesteinswechsel. Dann werden wir bei Wasseratmern an eine Änderung des Salzgehalts, der Temperatur des Wassers oder passiven Transport der Fossilien denken müssen, während ein ähnlicher Fossilwechsel in festländischen Gesteinen in der Regel auf klimatische Ursachen und deren Folgen für die pflanzengeographische Verbreitung der Nahrung zurückzuführen ist. Auch eine Verlagerung der Wasserscheiden muß tiefgreifende Änderungen im Fossilgehalt bedingen.

3. Weitreichende Transgressionen und Regressionen sind aber meist mit einem Mediumwechsel verbunden, indem ehemaliger Wasserboden verlandet oder festländische Gebiete überflutet werden.

Jedenfalls sind die Ursachen solcher biologischer Umgestaltungen viel zu mannigfaltig, als daß man sie mit der einfachen Formel „Transgression und Regression" erklären könnte.

Literatur

Deecke, W., Über Meerestransgressionen und daran sich anknüpfende Fragen. Ztschr. d. Geol. Ges. Bd. 68, Jahrg. 1916, Heft 3. — Frech, F., Lethaea palaeozoica. — Geickie, A., The oldred sandstones. Edinburgh 1878. — Grabau, W. A., Stratigraphy of China. Geological Survey Ministry of Agriculture and Commerce. Peking 1923—1924. — Grabau, W. A., Migration of Geosynclines. Bull. Geological Society of China, Vol III, Nr. 3—4, 1924. — Hedley, Ch., The natural destruction of a coral reef. Trans. R. Geogr. Soc. of Australia. Reports of the Great barrier reef Committee, Vol. I, 1925. — Keller, C., Die Wanderung der marinen Tierwelt im Suezkanal. Zool. Anz. Nr. 283, 1888. — Lapworth, H., Quat. J. Geolog. Society. London 1900. — Saville Kent, The Great barrier reef of Australia. 1893. — Schuchert, Ch., Palaeogeography of Northamerika. 1910. — Suess, E., Das Antlitz der Erde. Leipzig 1885.

61. Der Salzgehalt und die Jugendformen

Die von Sonne und Schwerkraft beständig bewegte Vadose strebt darnach, alle Hohlformen der Erdoberfläche auszufüllen. Sie fließt von den Kämmen der Gebirge und den Rändern der Tafelländer durch enge Talrinnen, immer bereit, den ganzen Talboden zu überfluten; sie bildet die süßen Schaltseen und im ariden Kreislauf die salzigen Endseen. Aber ihre größte Masse füllt die großen tektonisch angelegten und immer mehr vergrößerten ozeanischen Senkungsbecken, die als fossile Geo-Synklinalen zum größten Teil mit Sedimenten erfüllt sind, während andere, später entstandene Senkungsgebiete nicht von festländischen Abtragungsmassen zugeschüttet wurden, sich mit Wasser füllten und die weiten Ozeane bilden, die seit dem Untersilur endgültig zu einem universellen Weltmeer zusammengefügt wurden.

Wenn wir an die Vermehrung der Vadose durch eruptose vulkanische Wassermengen denken, die bei der Entgasung des Erdkerns unaufhörlich durch die permeable Erdhaut empordringen, so würde man daraus schließen sollen, daß das Wasservolumen des Weltmeers während der Erdgeschichte beständig vergrößert worden sei. Aber dem steht die geologisch leicht erkennbare Tatsache gegenüber, daß die ozeanischen Räume durch flächenhafte und randliche Senkung in derselben Zeit an Umfang zugenommen haben. Diese sich vergrößernden Becken nahmen den größten Teil der neu auf der Erdoberfläche erscheinenden Wassermenge in sich auf, und so beobachten wir, besonders seit den großen tertiären Bewegungen, trotzdem eine Verkleinerung der Meeresfläche und eine, für die Entwicklung der Landwelt so bedeutungsvolle Vergrößerung der Festländer.

Nur kleine Depressionen auf den heutigen Kontinenten sind wasserleer geblieben, weil die Niederschläge nicht hinreichten, um ihren Boden

mit dauernden Wassermengen zu füllen. Es ist interessant, daß solche Senkungsgebiete sowohl an den Rändern großer Kontinente (Schott Gharsa, Natronsee — 2 m, Oase Siwah — 29 m, Uadi Rajan — 32 m, Warabot im Somaliland — 36 m) wie als flächenhafte Senkungsfelder (Kaspi —26 m, Schott Mebriz — 32 m, Fayum — 40 m, Arralsee in Ostafrika — 174 m, Luktschur-Kyr in Zentralasien — 130 m) und als schmale Gräben: Jordantal — 394 und Death Valley in Kalifornien — 84 m) uns darauf hinweisen, daß nicht nur am Rand, sondern auch am Boden der heutigen Tiefsee sowohl flächenhafte wie grabenartige Senkungsgebiete auftreten können. Auch in der Vorzeit hat es solche aride Senken auf den Festländern gegeben (Oldredbecken, Buntsandsteinwüste), die gelegentlich vom Weltmeer überflutet wurden.

Heute gehört etwa $^1/_2$ der Erdoberfläche zu dem Gebiet der Tiefsee, deren Tiefe durch flache Wölbungen vermindert werden kann, und deren Grenzen infolge solcher Hebungen transgredierend über flache Küsten vordringen. Aber jene großen Transgressionen, die besonders in der Altzeit, und vereinzelt auch noch während der Mittelzeit weite Flächen überflutet haben, sind immer seltener geworden.

Das heutige Weltmeer hat ein Volumen von etwa 1330 Mill. kklm und wird erfüllt von einer rund 3,5 % Salzlösung, in welcher folgende Elemente vorherrschen und leicht nachgewiesen werden können:

O 86 % H 16 % Cl 2 % Na 1,14 % Mg 0,14 % S 0,09 %
Ca 0,05 % Ka 0,04 %

Dazu kommen noch eine große Zahl von Elementen, die man nur in Spuren, spektralanalytisch oder im Verbrennungszustand von marinen Organismen findet.

Wir können aber wohl annehmen, daß wahrscheinlich alle Elemente gelegentlich und in Spuren im Meerwasser auftreten oder aufgetreten sind; denn die heute vom Meer überfluteten Flächen, zweimal größer als die Festländer, sind überall mit riesigen Vulkangruppen besetzt und aus diesen müssen während und nach ihrer Eruptivzeit alle Elemente ins Meer gelangt sein, die wir in den vulkanischen Dämpfen oder in den Mineralien der Kontakthöfe nachweisen können.

Der Gasgehalt des Meerwassers ist nach manchen Seiten sehr genau untersucht und J. J. Fox hat folgende Zahlen gewonnen:

Absorption von O durch einen Liter Meerwasser:

bei einem Cl-Gehalt von ‰	0	5	10	15	20
Temperatur: 0°	10,29	9,71	9,13	8,55	7,97
„ 10°	8,02	7,60	7,19	6,77	6,35
„ 20°	6,57	6,26	5,95	5,63	5,31
„ 30°	5,57	5,30	5,01	4,74	4,46

Der O-Gehalt des Meerwassers ist darnach viel höher, als derjenige des Süßwassers. Mit steigender Temperatur nimmt der O-Gehalt rasch ab, daher besitzen die warmen salzreichen Meere ungefähr nur die Hälfte des O. In den kühleren salzarmen Polargewässern und in mittleren Breiten ist der Winter die für die Atmung und das Gedeihen der marinen Pflanzen und Tiere günstigste Zeit.

Zwischen der mittleren Zusammensetzung des heutigen Meerwassers und dem Lösungsgehalt der einströmenden Flüsse besteht ein auffallender Unterschied. Im Meer sind

88 % Chloride
10 % Sulphate
5 % Karbonate

enthalten, während der Durchschnittsgehalt der Flußwässer:

5 % Chloride
10 % Sulphate
60 % Karbonate

beträgt.

Die heutigen Flüsse würden nach Mallet den Meeresraum in 435000 Jahren mit Wasser füllen, aber sie brauchten 92 Mill. Jahre, um darin eine ebenso konzentrierte Salzlösung von Chloriden und Sulphaten zu erzeugen.

Obwohl eine große Anzahl geologischer und biologischer Vorgänge den Salzgehalt des Meeres verändern, so ist doch die marine Salzflut in allen Teilen der Welt von übereinstimmender Zusammensetzung. Bei einem mittleren Salzgehalt von 3,5 % (der zwischen 3 % an regenreichen Küsten und 3,8 % in der Tropenzone schwankt), sind die darin enthaltenen Elemente, wie Forchhammer und Dittmar in zahllosen Analysen gezeigt haben, bei allem Wechsel der Konzentration doch so gleichmäßig gemischt, daß das relative Verhältnis der Seesalze überall dasselbe Bild ergibt.

Die Gründe hierfür sind allgemein bekannt, denn die Sonne erzeugt Wind- und Meeresströmungen, die durch die Rotation der Erdkugel verzögert oder beschleunigt werden, der Mond hebt und senkt den Wasserkörper in den Gezeiten und die Abkühlung des Weltenraums schafft jene kalten Unterströme, die von allen nivalen Küsten nach der Tiefsee hinabsteigen, und ihrerseits wieder aufsteigende Kompensationsströme verursachen. Dazu kommen die von heißen Vulkanen erzeugten Strömungen und die durch die nektonischen Tiere veranlaßten organischen Bewegungen.

So werden in dem untrennbaren großen Weltmeer alle lokal entstehenden Lösungen immer wieder durcheinander gemischt und die Gleichartigkeit der Salzlösung bedingt.

Aber dieser Satz gilt nur für die Gegenwart. Denn wenn wir die geologischen Vorgänge, deren Wirkungen in den marinen Gesteinen der Vorzeit vor uns aufgeschlossen sind mit Rücksicht auf die durch sie bedingten Veränderungen des marinen Salzgehaltes prüfen, kann es keinem Zweifel unterliegen, daß der mittlere Salzgehalt des Weltmeeres sich beständig veränderte, daß diese Veränderungen niemals rückläufig werden konnten und daß jede größere geologische Periode durch eine andere, aber in sich einheitliche Salzlösung des Meeres ausgezeichnet war.

Bei der Prüfung dieser Frage hat man bisher in einseitig aktualistischer Weise nur die heutigen Flußwässer berücksichtigt, und eine Fülle von wohlbekannten geologischen Vorgängen völlig unbeachtet gelassen, die den allgemeinen Lösungsgehalt des Weltmeeres notwendig verändern und die wir kurz besprechen wollen:

Die wichtigsten Ursachen für eine dauernde Veränderung im marinen Salzgehalt sind die vulkanischen Eruptionen. Vom englischen und böhmischen Kambrium durch die devonischen Diabasgebiete, die permischen Porphyr- und Melaphyrmassen, die alpine Trias-, die südamerikanische Jurazeit, die riesigen Trappdecken der indischen Kreide und die weitverbreiteten tertiären Vulkangebiete bis zu den dampfenden Schloten der Gegenwart lassen sich vulkanische Eruptionsperioden unterscheiden.

Nach der Zusammenstellung von F. von Wolff sind folgende eruptive Gase entweder durch direkte Analyse der vulkanischen Exhalationen oder durch Glühen vulkanischer Gesteine nachgewiesen worden:

1. Chlorverbindungen: Cl, HCl, NaCl, KCl, $MgCl_2$, $CaCl_2$, $FeCl_2$, $AlCl_3$, NH_4Cl, CCl_4, $SiCl_4$, NCl_3.
2. Fluorverbindungen: NaF, KF, NH_4F, CaF_2, SiF_4.
3. Kohlenstoffverbindungen: Fe_3C, SiC, CO_2, CO, CH_4, C_2H_2.
4. Stickstoffverbindungen: Fe_2N, Si_3N_4, N_4S_4, NH_3, HCN.
5. Wasserstoffverbindungen: Viele der schon genannten und H_2.
6. Schwefelverbindungen: CaS, H_2S, CS_2, COS, N_4S_4.

Die große Menge von CO_2-, B-, As- und F-Exhalationen bei vulkanischen Exhalationen ist für unsere weiteren Betrachtungen von besonderer Bedeutung.

Dazu kommen aber noch zahlreiche andere Stoffe, die man im Tuffmantel tätiger Vulkane oder in den Mineralien der Kontakthöfe findet, wie: Fe, Zn, Cu, Pb, Mn, Bi, Ag, Mo, Co, Sb, Be, Ce, Na, K, Al, SiO_2, F, S, Cl, As, B_2O_3, TiO_2, P_2O_3 und viele andere Elemente.

Denn auch die magmatischen Tiefengesteine drangen, von heißen Dämpfen begleitet, empor, und wenn wir uns dem Kontakthofe eines plutonischen Gesteins nähern, beobachten wir von außen nach innen zu-

erst eine Zone, wo die Schiefer unzählige, hirsekorngroße Knötchen, dunkle Flecke oder zierliche Chiastolithnadeln enthalten, die durch Einwirkung der eruptiven Dämpfe entstanden sein müssen. Ihre Zahl und Größe nimmt immer mehr zu, und nahe der Berührungsfläche ist eine Zone von dichtem Hornfels entstanden. In der weiteren Umgebung des Tiefengesteins treffen wir eine Fülle anderer Neubildungen: Topas und Flußspatkristalle lassen sich auf Fluordämpfe, prächtige Nadeln von Turmalin auf Bordämpfe, Apatit auf Phosphor zurückführen; viele Granitstöcke sind von einer Zinnaureole umgeben. Viele wertvolle Erze sind in ihrer Entstehung an das Aufdringen plutonischer Magmen gebunden. Die Nickel-Magnetkieslagerstätten von Skandinavien, Nordamerika, Böhmen usw. sind Ausscheidungen aus basischen Magmen. Gold ist mit sauren Eruptivgesteinen emporgedrungen, während Platin in serpentinisierten Hornblendegesteinen aus den Tiefen der Pyrosphäre heraufgewandert ist.

Das geologische Alter dieser plutonischen Massen ist sehr verschieden, aber ebenso mannigfaltig ist die Erzführung einzelner oft nahe beieinander liegender Granitstöcke. Wir müssen daraus schließen, daß die unter der Lithosphäre lagernden Magmaschlieren nicht nur neben-, sondern auch nacheinander ganz verschiedene Gasgemische aus der magmatischen Tiefenregion nach den höheren Gebieten der Erdrinde mit emportrugen.

Wenn auch die meisten dieser Gase in den unterirdischen Kontakthöfen festgelegt wurden, so blieben sie doch nicht hier unverändert in Ruhe; denn bald drang die Denudation tief in die Eingeweide des metamorphosierten Gebirges hinein, und während die unlöslichen Quarze oder andere schwer verwitternde Teilchen als Trümmermassen nach den benachbarten Sammelmulden herabglitten, flossen die durch chemische Verwitterung gelösten Stoffe mit den Gewässern davon und mischten sich, wenn das Klima regenreich war, bald wieder mit dem Wasser des Weltmeeres.

Der aride Kreislauf aber hat stets solche Lösungen in den Endseen der Wüste gesammelt und konzentriert. Sobald wir uns klar machen, daß jeder chemisch (deszendent) entstandene Absatz in irgend einem kleinen oder großen ariden Sammelbecken von gelösten Verwitterungsmassen stammen muß, gewinnen die im permischen Kupferschiefer, in der triadischen Bleiglanzbank und vielen ähnlichen sedimentären Erzlagern enthaltenen Metalle eine erdgeschichtliche Bedeutung. Denn wenn solche Stoffe im ariden Kreislauf lokal angereichert werden konnten, müssen ähnliche Lösungen im pluvialen Kreislauf aus der Eruptose in die Lithose geraten und zuletzt bei der Abtragung der Kontakthöfe in das Weltmeer getragen worden sein. Wenn wir also die weiten Flächen vergneister Sedimente, großer Granitmassive und vulkanischer Decken verfolgen, so war die Bildung einer jeden dieser kristallinen Gebirgsmassen mit dem Aufdringen löslicher Verbindungen

verbunden, die nach wechselvollem Schicksal durch die Erdrinde bis zu deren Oberfläche gelangten und nun entweder direkt in das darüber lagernde Weltmeer aufgenommen, oder auf dem Umwege über die Niederschläge und vadosen Flüsse in den Ozean gebracht wurden. Die wenigen Vulkangipfel, die als vulkanische Archipele über dessen Spiegel emporragen und aus gewaltiger Tiefe aufgebaute riesige Magmakörper krönen, zeigen uns deutlich, von Island und den Azoren, bis nach den Vulkaninseln des Pazifik, welche ungeheueren Massen von dampfreichem Magma überall vom Meeresgrund aufgedrungen und unter beständiger Dampfentwicklung gewachsen sind.

Wenn wir bedenken, daß nur ein kleiner Teil der ozeanischen Vulkane über den Wasserspiegel emporragt und daß zahllose Vulkangipfel unter Korallenriffen oder andern Sedimentdecken verborgen sind, kann man nur vermuten, wie riesige Flächen des heutigen Meeresbodens von submarinen vulkanischen Dampfexhalationen durchzogen werden.

Bei ihrer chemischen Analyse trat besonders die Häufigkeit brennbarer Gase wie HCl, SO_2, CO_2, H_2, CH_4, O_2, N_2 hervor, die sich natürlich bei festländischen Eruptionen nicht nachweisen lassen.

Die durch die vulkanischen Eruptionen im Meer veranlaßten aufsteigenden Wasserrströmungen tragen alle diese neuentstehenden Minerallösungen nach den höheren Wasserschichten des Ozeans empor, wo sie in den klimatisch bedingten Strömungen der Meeresoberfläche ihren Weg über die Meere weiter fortsetzten. Eine Vulkanexhalation im Golf von Mexiko muß ihre chemischen Lösungen mit dem Golfstrom bis nach Island tragen und eine untermeerische Gasquelle an der Ostküste von Grönland gelangt nach wenigen Wochen bis nach Carolina.

Aber nicht nur die eigentlichen vulkanischen Eruptionen, sondern auch postvulkanische Gas- und Mineralquellen, die erfahrungsgemäß ganze geologische Perioden hindurch ungeheuer große Mengen von CO_2 in das Meerwasser hineinpressen, vermehren den Gasgehalt desselben.

Der CO_2-Gehalt einiger bekannten Mineralquellen mag diese Wirkungen erläutern:

Quelle:	CO_2-Gehalt in gr im 1 kg.
Johannesbrunn, Marienquelle	3,364
Luhatschowitz, Luisenquelle	3,268
Marienbad, Ferdinandquelle	3,179
Vilbel, Viktoriaquelle	3,905
Rhens, Sprudel	3,106
Soden, Sprudel	3,964
Nauheim, Sprudel	3,311

Die Quellen von Vichy liefern im Jahr 260,610 kg, die von Nauheim sogar 480,000 kg CO_2.

Wir brauchen nur auf den Mineral- und Gasgehalt der zahlreichen Thermen und Mineralquellen der Gegenwart hinzuweisen, die doch von den sich in der Tiefe abkühlenden Magmagesteinen tertiärer Vulkane gespeist werden, um zu zeigen, daß jede vulkanische Periode aller Zeiten einen beständig wechselnden Gehalt an Lösungen und Gasen entweder untermeerisch direkt in den Ozean brachte, oder auf dem Umweg durch festländische Lösung und den humiden und pluvialen Kreislauf.

Neben den vulkanischen Veränderungen des Weltmeers spielen die mit der chemischen Verwitterung verknüpften Lösungsvorgänge auf dem Festland eine nicht minder wichtige Rolle für die beständige und irreversible Veränderung in der chemischen Zusammensetzung des Meerwassers. Denn alle abfließenden Niederschläge entnehmen dem Gestein, aus dem sie emporquellen, und den Lockermassen der Klastosphäre, die sie durchsickern, große Mengen von löslichen Bestandteilen. Selbst der chemisch reine Regen und das indifferenteste Quellwasser verwandelt sich nach kurzem Lauf in eine schwache Lösung, deren Konzentration beständig zunimmt. Mineralquellen, ausgelaugte vulkanische Aschendecken, die Abfallprodukte des organischen Stoffwechsels und dessen postmortale Veränderungen bedingen ebenfalls eine Vermehrung des Lösungsgehaltes.

Wir zeigten früher, daß in gewissen geologischen Perioden solche Lösungsvorgänge besonders gesteigert werden.

Zunächst denken wir in diesem Zusammenhang an die Steigerung der abtragenden Vorgänge durch tektonische Zerklüftung der Erdrinde. Jede Faltungsperiode und jede Zeit stärkerer Bruchbildung muß die Oberfläche der lösbaren Gesteinsmassen vergrößern und bei unveränderten Niederschlagsmengen doch deren lösende Wirkung erhöhen. Aber mit der Zerklüftung eines gestörten Stückes der Erdrinde geht meist eine topographische Hebung (Horste, Faltenketten) Hand in Hand, und dadurch wird die Menge der dort fallenden Niederschläge vermehrt. Beide Vorgänge ergeben nicht nur eine Vermehrung der Flußtrübe und der im Fluß mechanisch verfrachteten Gesteinstrümmer, sondern ebenso der im Flußwasser gelösten Stoffe.

Wenn hierdurch in der Regel nur einzelne Kontinente zur Quelle einer Veränderung des Salzgehaltes im Meere werden, so treten in gewissen Perioden auch allgemeine Klimaänderungen auf der ganzen Erdoberfläche ein, die in demselben Sinne überall den Salzgehalt des Ozeans verändern.

Wir haben die merkwürdigen antinomen Klimaperioden schon mehrfach erwähnt, die durch ihre starke Verwitterung ausgezeichnet sind, und über große Flächen aller Kontinente tiefgründige Mürbedecken ausbreiten. Ungestörte Gesteinskörper werden hierbei bis 50 m tief, gestörte Zonen aber oft bis 200 m chemisch verändert. Die Kieselsäure und das Eisen werden gelöst. Dieses speichert sich in ausgedehnten Exsudaten

als lateritische Eisenkruste, jene gerät in den Kreislauf des Wassers, fließt nach den Niederungen, stagniert im Grundwasser oder strömt ins Meer, wo ausgedehnte Zonen von Kieselkonkretionen in den marinen Sedimenten von 'diesem Überschuß der im Flußwasser kolloidal gelösten Kieselsäure Zeugnis ablegen.

Welchen Einfluß diese Verwitterungsvorgänge auf alle unorganischen und organischen Erscheinungen im Meere haben, läßt sich nur aus den dort gebildeten Sedimenten und den darin eingeschlossenen Fossilien erschließen. Denn alle diese ins Meer einströmenden, mehr oder weniger starken Lösungen treten in gegenseitige Reaktion mit dem im jeweiligen Meerwasser vorhandenen Lösungsgemisch und mit den chemischen Stoffwechselvorgängen der darin lebenden Organismen.

Die Stärke dieser Reaktion wird aber durch einen weiteren geologischen Faktor sehr beeinflußt, nämlich die geographische Größe des trockenliegenden Gebiets und des auf dem betreffenden Festland herrschenden Klimas.

Alle oszillatorischen, transgredierenden oder regredierenden Vorgänge des Weltmeeres müssen diese Erscheinungen hier steigern, dort vermindern und alle hinterlassen ihre diagenetischen Wirkungen in den damals neugebildeten Ablagerungen.

Solange das Klima eines Festlandes durch hohe Niederschläge und geringe Verdunstung ausgezeichnet ist, rinnen alle diese neuentstehenden Lösungen auf dem kürzesten Weg nach dem Meer, und die geringe Menge des im Flußwasser Gelösten kann dort keine plötzlichen Veränderungen hervorrufen.

Ganz andere Wirkungen hat ein arides Klima, das alle Lösungen speichert und beim Verdampfen der Endseen und Trockenseen innerhalb der weiten Wüstenländer, alle Lockermassen mit gelösten Salzen verkittet, verkrustet oder anreichert. Die Fülle der in allen Wüsten so gespeicherten Stoffe ist aus den Analysen von Salzseen nur teilweise bekannt. Aber wenn wir die Angaben von Roths chemischer Geologie mustern, so staunen wir über die Menge und Masse der in ariden Ländern angereicherten vulkanischen oder chemischen Verbindungen, in den Boraxseen Nordamerikas, Natronseen Ägyptens, Salpeterlager Atakamas oder Quellabsätzen in der Oase Charget, die sogar bis 4% Kobalt enthalten.

So kann, wie uns die Erdgeschichte lehrt, ein großes Festland lange Perioden hindurch als arides Wüstengebiet alle dort entstehenden löslichen Verbindungen festhalten und keinen Tropfen Flußwasser nach dem nahen Meere lassen — bis eine kleine topographische Änderung der Wasserscheiden, das Entstehen eines Faltengebirges oder einer hohen Vulkangruppe, oder eine allgemeine Änderung des Klimas plötzlich aus dem verschlossenen Land einen mineralhaltigen Strom bis zur Küste

leitet. Hier ergießt sich eine verhältnismäßig starke Lösung von chemisch differenten Verbindungen ins weite Meer und sofort ändert sich der Salzgehalt des Küstengebiets und ebenso derjenige der von hier aus weiterfließenden Meeresströmungen. Was zunächst vielleicht in einem küstennahen Binnensee enthalten war (wir denken an die Metallsalze der Kupferschieferbecken) strömt plötzlich ins Weltmeer hinaus und muß dort auf die Sedimente ebenso wie auf die darin lebenden Organismen einen tiefgehenden Einfluß haben.

Den Vorgängen, welche den bestehenden Salzgehalt des Weltmeeres immer wieder, bald allmählich, bald plötzlich vermehren, stehen aber andere Prozesse gegenüber, die solche Stoffe wieder ausfällen, die im Seewasser gelöst waren.

Solche sind zunächst rein chemischer Natur, obwohl bei vielen derselben die Vermoderung und Verwesung mariner Pflanzen und Tiere eine wichtige begleitende Rolle spielt. Wir sehen das besonders an dem Fossilgehalt der Konkretionen, die ein so charakteristisches Kennzeichen vieler Gesteine sind und bei denen der Einfluß absterbender Pflanzen oder Tiere jedem Sammler in die Augen fällt. Die Pyrit-, Phosphat-, Kalk- und Kieselkonkretionen, die oft ganze Schichtenfolgen in gleichmäßigem Rhythmus durchziehen, die manchen Gesteinen ihren Namen gegeben haben, sind der Ausdruck dafür, daß der in der Konkretion zusammengeballte Stoff unter den dort waltenden lithogenetischen Umständen in Überschuß im Wasser gelöst war und durch chemische oder organische Vorgänge ausgefällt wurde.

Aber auch die Untersuchung der heutigen Meere zeigt uns weite Gebiete, wo diese Vorgänge im Gange sind:

Die Kalkkonkretionen des Roten Meeres und der Binnenseen, die Dolomit- und Eisenspatknollen von Aru, die Schwefelkiesschwülen des australasiatischen Meeres, die so weit verbreiteten Glaukonitsande, die Schwerspatkonkretionen der Siboyaexpedition, die bis 6 cm großen Phosphoritknollen der Agulhasbank, die weitverbreiteten Manganknollen, die Phillipsite des Roten Tons und ähnliche chemische, am Meeresboden ausgeschiedene Massen, zeigen uns, welche Stoffe bald hier, bald dort aus dem Lösungsgemisch des Seewassers gefällt worden sind.

Aber in viel größerem Umfange findet eine Verminderung des Lösungsgehaltes im Meere durch biologische Vorgänge statt. Denn jedes gesellige Lebewesen, das unverwesliche Hartgebilde ausscheidet und mit diesen gesteinsbildend auftritt, ist eine Ursache solcher chemischen Umgestaltungen des marinen Salzgehaltes.

Hierbei werden keineswegs nur solche Stoffe niedergeschlagen, die im Wasser in Überschuß gelöst sind, sondern sogar die geringsten, analytisch nicht nachzuweisenden Spuren.

Denn biologische, nicht anorganisch-chemische Umstände regeln den organischen Stoffwechsel: Sonnenlicht und Temperatur, Assimilation und Nahrung, Lebenswärme und Klima bestimmen die Intensität des Lebens.

Korallenriffe wachsen und gedeihen nicht da, wo viel Kalk im Seewasser gelöst ist, sondern wo die Strahlen der Sonne das Wasser durchleuchten und durchwärmen. Der Mond darf aber nicht allzu große Gezeiten bilden, das Festland darf nicht zuviel Süßwasser und die Meeresströmungen nicht kaltes Seewasser herbeitragen.

Aber wenn diese Umstände zusammenkommen, so überziehen sich alle Flachseeböden mit der üppigen Fauna und Flora, die man nach ihren auffallendsten Vertretern Korallenriffe benennt.

Selbst die Abgründe der Tiefseen werden nicht deshalb mit kieseligen Radiolarien und Diatomeen oder kalkigen Globigerinen und Pteropoden überstreut, weil in dem einen Meer größere Mengen an Kieselsäure, im anderen mehr Kalkkarbonat gelöst ist, sondern weil die für besondere Planktonwesen besonders günstigen bionomischen Verhältnisse in dem darüber wogenden Wasserkörper herrschen.

Aber gerade diese bionomischen Zusammenhänge erklären es, weshalb gewisse Perioden durch organische Gesteine ihren besonderen Charakter und oft auch ihre Namen erhalten haben.

Schon G. Bischof hat die Frage erwogen, welche Mengen von CO_2 bei der Bildung der gewaltigen Kohlenmengen verbraucht und in der Erdrinde gespeichert worden sind. Seither haben zahlreiche andere Forscher im Zusammenhang mit der von Arrhenius geäußerten Ansicht, daß der CO_2-Gehalt der Atmosphäre entscheidend sei für die Verteilung und Ausprägung der Klimazonen, das Problem des CO_2-Gehaltes in der Atmosphäre weiter behandelt.

Allein nach dem, was wir früher über die karbonische Flora gesagt haben, handelt es sich hierbei keineswegs um einen atmosphärischen Vorgang, sondern um einen solchen in der Hydrosphäre. Denn nach unserer Auffassung lebten die Steinkohle-bildenden Pflanzen unter dem Wasserspiegel und ragten nur mit ihren letzten Blattschöpfen und Generationsorganen über denselben empor. Der Mangel aller Jahresringe, die weltweite Verbreitung vieler Arten und der meisten Gattungen drängen zu diesem Schluß. Sie verbrauchten also bei ihrer Assimilation nicht atmosphärische CO_2, sondern entnahmen sie den im Meerwasser enthaltenen CO_2-Mengen.

Die CO_2 ist im Seewasser nicht einfach gelöst, sondern in eigentümlicher Weise als H_2CO_3 gebunden. Diese Mengen sind so groß, daß sie die Alkalinität des Seewassers bestimmen und etwa 30 bis 50 ccm im Liter erreichen. Es handelt sich also bei der Assimilation der überall verbreiteten Meerespflanzen der Gegenwart wie der Vorzeit, um Vorgänge

von ungeheurem Ausmaß, die solche Mengen von CO_2 dem Wasser entziehen, daß seine chemische Zusammensetzung in der diaphanen Region überall verändert und seine Lösungsfähigkeit für andere Verbindungen zeitlich immer wieder herabgesetzt oder bei Zuströmen von vulkanischen Dämpfen vermehrt wird.

Dasselbe Prinzip, das wir bei allen festländischen geologischen Vorgängen erkennen: Die Summierung kleiner Veränderungen im Lauf langer Zeiträume beherrscht auch die Geschichte der Salinität des Weltmeeres.

Denn zahlreiche, an sich unscheinbare Vorgänge: vulkanische Exhalationen, klimatisch bedingte Verwitterung und organischer Stoffwechsel ändern beständig die chemische Zusammensetzung des Seewassers und erreichen im Laufe langer Zeiträume eine solche Stärke, daß jede geologische Periode durch ein chemisch anderes Weltmeer ausgezeichnet war.

Die Übergänge im mittleren Salzgehalt von einer Periode zur anderen werden meist langsam vorbereitet, bisweilen aber durch polydynamisches Zusammentreffen verschiedener Ursachen so gesteigert, daß alle mit der Salinität des Meeres zusammenhängenden anorganischen und organischen Vorgänge in kurzer Frist dadurch umgestaltet wurden.

Neben der rein chemischen Reaktionsfähigkeit des Meerwassers spielt aber für das marine organische Leben dessen Konzentration oder seine Dichte eine nicht minder bedeutsame Rolle. Denn sie bestimmt den osmotischen Druck, der den Stoffwechsel und ebenso die aktiven und passiven Bewegungen der im Meere lebenden, schwebenden, schwimmenden und kriechenden Tiere regelt.

Jedes im Wasser lebende Wesen (mit Ausnahme der nachträglich vom Festland her ins Wasser wieder eingewanderten Seegräser, Mangroven, Reptilien und Säugetiere) ist mit seinem ganzen Stoffwechsel auf den osmotischen Druck innerhalb und außerhalb seiner Gewebe eingestellt. Diese Beziehungen sind aber während des individuellen Lebens einem beständigen Wechsel unterworfen. Von der Larve bis zum reifen Organismus ändert sich beständig dessen Stoffwechsel und bei allen seinen aktiven und passiven Ortsveränderungen gelangt das wachsende Lebewesen unter andere Druckverhältnisse.

Zu allen Zeiten ruhte der größte Teil der Vadose als gleichmäßig gesalzenes marines Wasser in den großen Becken der Ozeane.

Hier herrscht von den Abgründen der Tiefsee bis zu den Küsten regenarmer Gebiete eine gleichartig gesalzene Lösung und wenn nicht das Licht, die Temperatur und die Fazies des Meeresbodens die marine Wasserwelt in verschiedene bionomische und tiergeographische Lebensbezirke gliederte, müßte man dieselbe Lebewelt in allen Teilen der Hydro-

sphäre erwarten können. Aber der Kreislauf des irdischen Wassers trennt die Vadose in biologisch grundverschiedene Regionen, die im Laufe der Erdgeschichte immer wieder ihre Eigenart geändert haben, so daß ganz verschiedene Synusien in den gleichzeitig gebildeten Fazies ebenso wie in den nacheinander auftretenden Gesteinen enthalten sind.

Wir bezeichnen die in dem einheitlichen Weltmeere gebildeten Gesteine mit ihrem endemischen Fossilgehalt als marin und trennen die thalassischen Randgebiete von den ozeanischen Mittelregionen.

In der ariden Zone reicht dies reine ozeanische Wasser mit seiner artenreichen Lebewelt bis an die Grenzen des Festlandes, aber unter dem Einfluß des humiden und pluvial abfließenden Kreislaufes schaltet sich eine thalassische Übergangszone ein, die mit ihren brackischen Ästuarien, ihren wechselnd gesalzenen Nebenmeeren und ihren oft weit in die Hochsee hinausgetragenen, süßen Oberschichten den Charakter der Lebewelt sehr wechselvoll gestalten.

Die Sedimente und die Lebewelt des Süßwassers nennen wir limnisch. Seine Bewohner sind Abkömmlinge des Meeres, die nicht nur beim Aufsuchen ihrer Laich- oder Futterplätze in Flüsse und Schaltseen periodisch eindringen, sondern auch als dauernde Ansiedler auftreten. Die geringe Zahl der im Laufe der Erdgeschichte ins Süßwasser eingewanderten Formen macht es verständlich, daß die fossile Süßwasserfauna nur aus vereinzelte Arten besteht; doch ist ihre Personenzahl oft staunenswert.

Noch schwieriger war die Besiedlung der salinischen Endseen des ariden Wüstengürtels. Luftgetragene Keime von Estherien finden sich leicht ein, Fische dringen beim Abkommen der Wüstenflüsse auch in deren Oberlauf, aber meist muß eine Brücke zwischen binnenländischen abflußlosen und abfließenden hydrographischen Systemen angenommen werden oder das nahe Meer eingedrungen sein, wenn wir inmitten eines ariden Erdsees eine reichere Fauna treffen.

R. Wallace hat in seinem „Islandlife“ und R. Credner in seiner Monographie der „Reliktenseen“ die Frage nach anderen Möglichkeiten der Einwanderung besprochen und manche seltsamen Fälle erklärt.

Wir brauchen nicht zu betonen, daß wir die luftatmenden Reptilien und Säugetiere, die sich nachträglich an das Leben im Süßwasser oder im Meere angepaßt haben, nicht zum Reich der Wasseratmer rechnen. Denn sie leben und nähren sich zwar in der Hydrosphäre, aber sie atmen die Luft der darüber lagernden Atmosphäre.

Die Sirenia der Gegenwart, denen noch einige fossile Formen zugerechnet werden müssen, haben sogar ihre festländische Nahrung beibehalten, denn sie nähren sich von den (mit ihnen?) ins Meer eingewanderten phanerogamen Seegräsern.

Ich halte die Fische für endemische Bewohner der Hydrosphäre, die vielleicht im Süßwasser entstanden sind; aber die Gruppe der Ceratodontiden, einige Selachier und die Crossopterygia unter den Ganoiden ebenso wie die Arthrodira zeigen, durch ihr geologisches Auftreten in Flüssen und Seen großer Binnenländer, ihre biologische Eigenart.

Unter den Reptilien sind die Mosasauria in der Kreidezeit, die Testudinata, Ichthyosauria und Sauropterygia in der Trias, die Teleosauria und Metriorhynchidae im Jura ins Meer eingewandert. Bei den Dinosauria finden wir merkwürdigerweise keine Anzeichen, daß irgendeiner der gewaltigen Riesen sein Skelett an das Leben unter Wasser angepaßt habe, obwohl ihr kolossal schwerer Körper darauf schließen lassen möchte. Unter den Vögeln scheint Hesperornis ein guter Taucher gewesen zu sein – wie die heutigen Pinguine der Südhalbkugel und die Tauchvögel des Nordens. Die meisten Mammalia sind dem Festland treugeblieben, neben den schon genannten Sirenia finden wir nur die Delphine und Wale erst seit dem Tertiär im Meere.

Alle genannten Formen sind karnivor oder an benthonische Pflanzennahrung gebunden. Nur die Bartenwale sind als Planktonfresser Bewohner der Hochsee geworden.

Wenn wir die genannten „unechten" Wassertiere ausnehmen, so ist es für fast alle echten Wasseratmer bezeichnend, daß sie sich, selbst wenn sie den größeren Teil ihres Lebens festgewachsen am Meeresboden leben, doch durch planktonische, freischwebende Jugendformen als sogenanntes Meroplankton fortpflanzen. Obwohl in ihrem glashell durchsichtigen Körper oft schon frühzeitig zarte kieselige oder kalkige Hartgebilde auftreten, so fehlen ihnen doch alle Schutzmembranen, die sie physiologisch von der mit Mineralstoffen beladenen Lösung ihrer Umwelt abscheiden. Ihre Haut ist vielmehr für die zu ihrem Leben nötigen Lösungen permeabel und nur die Selbstregulierung ihres Lebensvorgangs bestimmt, welche Ionen aus dem Wasser in ihren Zellen aufgenommen werden sollen.

Wir haben schon im Abschnitt 17 darauf hingewiesen, welche seltsame chemische Selektion von den Vertretern verschiedener Tiergruppen gegenüber dem Lösungsgemisch im Wasser innerhalb jeder Tiergruppe nicht nur in der Gegenwart, sondern auch seit den ältesten geologischen Perioden ausgeübt wird. Die schon seit dem Kambrium bekannten Brachiopoden haben in den ungeheuren seither verflossenen Zeiträumen niemals die chemische Eigenart ihres Stoffwechsels geändert und stets leben die Kalkkarbonat abscheidenden Artikulata neben den Inartikulata, die ihre Schale aus Horn und Kalkphosphat aufbauten.

Diese und viele ähnliche, jedem Paläontologen wohlbekannten Tatsachen sind der Ausdruck jener feinen physiologischen Vorgänge in den lebenden Geweben aller Organismen, die durch Selbstregulierung bestimmt,

während des individuellen Lebens trotz allen Wechsels in der äußeren Umwelt mit Zähigkeit festgehalten und durch Millionen von Jahren vererbt werden.

Ein wichtiger Teil des Lebens in jedem Organismus ist sein Mineralstoffwechsels den man nur willkürlich von dem „organischen" Stoffumsatz trennen kann. Die damit verbundenen chemischen Vorgänge innerhalb der lebenden Zellen sind beim Menschen genau untersucht, während unsere Kenntnisse über die entsprechenden Lebensvorgänge bei niederen Meerestieren leider noch immer sehr gering sind.

In einem 70 kg schweren Menschen sind 40 kg Wasser und etwa 3 kg Aschenbestandteile enthalten, und wenn man die Menge der Moleküle in den Geweben vergleicht, so findet man die anorganischen Elementarbestandteile zahlenmäßig durchaus den organischen gleichwertig.

Im menschlichen Körper sind chemisch nachzuweisen: Na, K, S, Ca, Cl, Mg, Fl, P, Al, Si, Fl, Br, B, Sn, Ku, Mn, As.

Die verschiedenen Organe des Körpers sind aber nicht allein durch verschieden gebaute Gewebe ausgezeichnet, sondern auch durch eine verschiedene chemische Zusammensetzung.

Diese während des Lebens beständig abgebauten und verbrauchten Stoffe werden nun zwar bei den Luftatmern nur durch die Mundöffnung aufgenommen, dagegen bei den unter Wasser lebenden und assimilierenden Organismen ebenso durch die permeable äußere Epidermis, wie durch die durchlässigen Schleimhäute der inneren Organe.

Das festländische Tier kann die ihm schädlichen Lösungen vermeiden, indem es seine Nahrung und sein Getränk selektiv auswählt. Jede seinem individuellen Stoffwechsel nicht entsprechende Nahrung („Gift") oder der Genuß abnorm gesalzener Lösungen (Seewasser) stört sein biologisches Gleichgewicht und kann den Tod herbeiführen. Beim Menschen ist durch tausendfältige Versuche (innere Medizin, Balneotherapie) genau untersucht, welche Lösungen den gestörten oder abnormen Stoffwechsel wiederherstellen und die Lebensvorgänge fördern, indem man die in natürlichen Mineralwässern enthaltenen Stoffe experimentell physiologisch prüfte.

Man hat auf Grund solcher Erfahrungen gelernt, zunächst die rein physikalischen oder osmotischen Wirkungen zu unterscheiden, da bei jeder Schwankung des Salzgehaltes die Zellen durch Quellung oder Schrumpfung, nach ihrer Stärke gereizt oder geschädigt werden. Kranke oder altersschwache Zellen werden zu rascherem Zerfall oder Absterben gebracht, die Entwicklung junger nachwachsender Zellen gefördert und eine Regeneration des Organismus eingeleitet.

Daneben wirken die in solchen Lösungen enthaltenen Kationen und Anionen chemisch auf den Stoffwechsel ein. Jede merkliche Verschiebung des Verhältnisses der gegenseitigen Verhältnisse der im Organismus kreisenden Ione verursacht in ihnen nutritive oder funktionelle Störungen, die sich als Steigerung oder Herabsetzung der Lebensäußerungen geltend machen. Besonders eine Änderung des Gehaltes an K-, Na-, Ca-, Mg-Ionen bedingt eine Gleichgewichtsverschiebung und zwar üben die körperfremden Ionen von As, B, J, und Q eine zunächst unmerkliche, allmählich aber durch Kumulation sich steigernde Wirkung auf die Funktionen der Gewebe aus.

Durch Versuche bei niederen Tieren konnte man zeigen, daß Jonen verschiedener Elemente sich gegenseitig in ihrer Wirkung beeinflussen. Zn und Na, ebenso wie Ca und Mg entgiften sich gegenseitig und andere Stoffe steigern ihre physiologischen Wirkungen.

Wir müssen in diesem Zusammenhang an die überaus wichtige Tatsache erinnern, daß jugendliche Personen solchen schädigenden oder fördernden Einflüssen auf ihren chemischen Stoffwechsel ganz besonders ausgesetzt sind. Denn der werdende Organismus ändert selbst im Lauf seiner Ontogenie beständig seine Umwelt und seinen Stoffwechsel.

Die zunächst skelettlose Larve beginnt mit einem bestimmten Zeitabschnitt hornige oder kalkige Skelettelemente auszuscheiden. Die vorher in den bewegten durchlichteten Oberschichten des Meeres planktonisch treibende Jugendform sinkt zur dunklen Tiefe hinab, bildet chemisch einen Haftapparat in Anpassung an die fazielle Beschaffenheit des Untergrundes, beginnt eine neue Art der Lebensweise und der Ernährung und wenn dann die Geschlechtsreife eintritt, ändert sich wiederum der chemische Stoffwechsel.

So ist das Leben während der Jugendzeit viel labiler und wechselvoller als im erwachsenen Zustand. Kein Wunder, daß zwangsläufig auftretende Änderungen des Stoffwechsels auch eine Änderung der Funktion des Gewebes und der Form der Organe mit sich bringen.

Eine große Anzahl von Versuchsreihen sind von namhaften Biologen ausgeführt worden, um das Wachstum der ersten Jugendformen mariner Tiere zu beeinflussen. H. Pribram hat den Chemismus des Stoffwechsels in folgende Sätze zusammengefaßt:

Die verschiedenen Arten und Rassen sind in allen ihren lebenden Teilen chemisch verschieden und das Wachstum ist fortwährend mit chemischen Veränderungen verbunden. Hängt aber die Organbildung von der chemischen Beschaffenheit der Bildungszone ab, so wird jeder Teil, der alle für das betreffende Organ notwendigen Stoffe besitzt, auch dann das Organ aufbauen, wenn er nur einen Bruchteil dieser Stoffe enthält.

Die grundlegenden Versuche von J. LOEB ergaben, daß die Unfähigkeit der meisten Seetiere, in salzfreiem Wasser zu leben, in erster Linie durch das Fehlen bestimmter Salze, und erst in zweiter Linie durch den Unterschied des osmotischen Druckes bedingt ist. Denn sie sterben ebenso leicht, wenn man sie in eine dem Seewasser isomotische Lösung von Zucker oder anderen Salzen wie Na, Ca und K bringt. Von geringerer Bedeutung ist der $MgCl_2$-Gehalt, doch leben Tiere länger, wenn diese Verbindung vorhanden ist. Wo es sich freilich um Entwicklungs- und Wachstumsvorgänge handelt, scheint noch eine neue Bedingung hinzuzukommen, nämlich eine innere Regulation, welche die Lösung völlig oder nahezu neutral hält. Im Seewasser übernehmen $NaHCO_3$ und $NaHPO_4$ diese Rolle. Auch ein Zusatz einer kleinen Menge von Sulfaten erweist sich als günstig, aber nicht als absolut unerläßlich. Selbst die Gattungen der Echinoden verhalten sich hierin ganz verschieden.

Obwohl die diesen Sätzen zugrunde liegenden Experimente nur mit wenigen Meerestieren und nur mit deren frühesten Furchungsstadien vorgenommen worden sind und es bisher noch nicht gelungen ist, irgendeine dieser künstlich beeinflußten Larven bis zum Stadium der erwachsenen Person weiter zu beobachten, so zeigen sie doch ganz eindeutig den formativen Einfluß der chemischen Zusammensetzung des umgebenden Seewassers.

Klar erkennen wir, welche Kämpfe jede solcher Jugendform mit Hilfe ihrer selbstregulierenden Eigenschaft gegen die chemische Veränderung ihrer Umwelt aufnehmen muß, und wie der veränderte Stoffwechsel sehr bald einen Formenwechsel zur Folge hat. Ob dieser Formenwechsel zur Ausbildung lebensfähiger neuer Gestalten führt, oder ob er die betreffenden Exemplare tötet, ist für unsere weitere Betrachtung weniger wichtig. Denn die Parallele des durch Selbstregulierung herauwachsenden Individuums, das nach dem raschen Wechsel der Jugendformen auf dem Stadium der ausgewachsenen Form stehen bleibt und der durch Selbstregulierung variierender Zwischenformen zuletzt erreichten „neuen Art“ ist nur nach der Länge des dazu nötigen Zeitraums, nicht nach dem Wesen des Formenwandels verschieden.

Über die äußeren Umstände, unter denen bei den marinen Organismen die Befruchtung stattfindet, sind leider nur wenige Untersuchungen gemacht worden. Aber jeder Biologe, der auf langen Seereisen das Plankton der Hochsee dauernd gemustert hat, konnte sich leicht davon überzeugen, wie oft der Dampfer oder das Boot unregelmäßige Flecken und Flächen durchschneidet, in denen eine bestimmte planktonische Tierart in Eiern, Larven, oder erwachsenen Exemplaren vorherrscht. Schwärme von Physaliea oder Velella bedecken oft die Wasserfläche, zahllose Medusen von einer einzigen Art schwimmen dicht gedrängt neben ein-

ander her und auch das Planktonnetz bringt uns immer wieder Fänge von solchem monotonen Plankton vor Augen.

Dann folgen Strecken in denen die Mischung der Arten und Gattungen vorwiegt; und wer das nächtliche Meerleuchten daraufhin prüft, wird auch hier neben den von einheitlich gestalteten Lichtflecken beleuchteten Gewässern solche sehen, wo ein buntes Gewimmel kleiner und großer leuchtender Stellen aus dem Wasser heraufdringt und man daran sofort erkennt, daß Tiere von ganz verschiedener Art und Form durcheinanderschwimmen.

Im Golf von Neapel, wo die Fischer der zoologischen Station auf solche Dinge besonders zu aohten gewohnt sind, treten uns als charakterische Verbreitungsart des marinen Plankton, die Correnten, entgegen: schmale, planktonreiche Streifen, die nach bestimmten Winden an bestimmten Stellen erscheinen und dem Planktonfischer reiche Beute geben. Die Länge und Breite dieser Planktonstreifen ist sehr verschieden und es ist charakteristisch, daß dieselben nicht allein als Oberflächenerscheinung auftreten, sondern daß an bestimmten Stellen auch ähnliche Strömungen von der Tiefe emporsteigen. Die sog. Steige (Ammontatura) im Osten von Nisida, ist ein berühmter Jagdplatz für die nur in größeren Tiefen lebenden Ctenophoren, Cephalopoden, Krebse und Fische, die durch eine aufsteigende Strömung emporgetragen werden.

Eine ähnliche, von unten nach der Meeresoberfläche gerichtete Strömung befördert an der Ostküste von Sizilien die Tiefseeradiolarien und Tiefseefische aus dem tiefen Meer nach der Meerenge von Messina, und trägt hier oft zahllose Bewohner der größten Tiefen mitten unter die Organismen des flachen Wassers.

Die Verteilung des Plankton im Meer ist zu vergleichen mit den in einer Schneewolke treibenden Flocken, die dem aufmerksamen Beobachter alle Einzelheiten der beständig auf- und absteigenden oder durcheinander wirbelnden Luftströmungen innerhalb der in einer allgemeinen mittleren Richtung dahinschreitenden Windbahn zu unterscheiden gestattet.

So sieht der Reisende im Atlantik an den nekroplanktonischen gelben Streifchen des Golfkrautes sofort, wenn er in den Bereich des warmen Golfstromes hineingefahren ist, und an den Nordküsten von Australien trägt die Meeresströmung gewaltige Ballen von bräunlichem Tange nach fernen Buchten.

Das alles aber gilt nicht nur für die Gegenwart, sondern muß auch für alle früheren Perioden der Erdgeschichte bis zum Beginn der Silurzeit gelten, als zum erstenmal ein einheitliches Weltmeer die Erde umspannte.

Die zahlreichen, vulkanisch, atmosphärisch oder ozeanographisch bedingten und geregelten kleinen und großen Wasserströmungen mußten in jeder Periode der Vorzeit drei verschiedene Folgen haben:

1. Die einheitliche Mischung des Salzgehaltes im Weltmeer.
2. Eine durch unscharfe Übergänge vermittelte einheitliche Lebewelt der Meere.
3. Die mit den langsamen Änderungen des Salzgehaltes gleichen Schritt haltenden Änderungen des Stoffwechsels der in meroplanktonischen Schwärmen sich entwickelnden und bis zu einer Endform umbildenden Tiere.

Es ist eine jedem Geologen geläufige Tatsache, daß die marinen Tiere in beständig wechselnden Arten, chronologisch wohlgeordnet im Laufe der Erdgeschichte nacheinander auftraten. Diese rhythmische Veränderlichkeit der Form ihrer Hartgebilde ist aber nichts anderes als der Ausdruck eines Wechsels in der Art ihres chemischen Stoffwechsels.

An dem so langlebigen und an so vielen Tausenden von Exemplaren genau untersuchten Ammonitenstamm können wir auch erkennen, daß diese Veränderung der Skelette, keineswegs nur die äußeren, der eigentlichen geographischen Umwelt ausgesetzten Gebilde betrifft, sondern daß auch die, jeder äußeren Anpassung entzogene, innere Lobenlinie sich beständig ändert.

Es kann also die Ursache solcher Änderungen nicht in den biologischen Bedingungen der Umwelt, für die man gewöhnlich die „Anpassung" verantwortlich macht, gelegen sein, sondern es müssen Erscheinungen in der Selbstregulierung des chemischen Stoffwechsels als letzte Ursache jeder Artveränderung aufgefaßt werden.

Die zweite, geologisch ebenfalls allgemein anerkannte Tatsache ist, daß nicht nur jede einzelne Gattung in eine neue Art umgewandelt wird, sondern daß die geologischen Überreste deutliche wohlgesonderte Endformen, als gute Arten, erkennen lassen.

Die „unbegrenzte Variabilität", wie sie Darwin für die sich ändernden Formenkreise annahm, existiert nicht.

Es muß also die Formveränderung schrittweise erfolgt sein, und die Übergänge von einer älteren Art zur chronologisch jüngeren Spezies haben uns keine erwachsenen Endformen hinterlassen.

Wir werden damit zu der Auffassung gedrängt, daß die Artveränderung während des bildsamen Jugendstadiums **pädogenetisch** erfolgt sein muß.

Aber nicht minder bedeutsam ist die Tatsache, daß nicht allein die einzelne marine Art einen beständigen, rhythmischen Artwechsel chronologisch erkennen läßt, sondern daß sich auch alle Synusien ebenso ändern. Diese Änderung des Faunengehaltes, die den wichtigsten Teil der stratigraphischen Arbeit bildet und die in allen Kontinenten und allen marinen Schichtenfolgen der Erde in derselben Weise erkennbar ist, zeigt uns deutlich, daß allgemein verbreitete, in allen Meeresteilen jeder

Periode auftretende Änderungen der den Stoffwechsel regulierenden Umwelt die Ursache des Artwechsels der Meeresfauna sein müssen.

Wir glauben in der kontinuierlichen Änderung des Salzgehaltes im Weltmeer den Anstoß dafür zu finden, daß jugendliche meroplanktonische Larvenschwärme immer wieder gleichzeitig und in großer Zahl zu einer Änderung ihres Stoffwechsels gezwungen wurden, bei dem die zähe Kraft der vererbten Selbstregulierung zu neuen Endformen gedrängt wurde.

Daß diese Änderungen keine richtungsgebende Kraft ausübten, daß mit anderen Worten nur der Art**wechsel**, nicht aber irgend ein Fortschritt oder Rückschritt der phyletischen Folge das Kennzeichen des Formenwandels unter dem Wasserspiegel ist, geht aus den paläontologischen Tatsachen unzweideutig hervor.

Wir werden noch auszuführen haben, daß fortschreitende und rückschreitende Entwicklungsfolgen besonders bei einem Mediumwechsel auftraten. Daß also beim Aufstiege von ehemaligen Wassertieren nach dem Festlande, beim Eindringen in die höheren Schichten der Atmosphäre oder umgekehrt, beim Einwandern von Landtieren in das Meer sehr tiefgreifende Umgestaltungen auftraten, die man unter die teleologischen Begriffe „Fortschritt und Rückschritt" leicht einordnen kann.

Aber der Wandel der wasseratmenden Lebensformen vollzog sich nachweislich seit dem Kambrium bis zur Gegenwart durch einen Schichtenstoß von 25000 m ohne daß wir eine Änderung in der Organisationshöhe irgend einer Tiergruppe erkennen können. Die Lobenlinie eines silurischen Endoceras ist nicht primitiver, als die des rezenten Nautilus, die Segmentierung und die Augen eines kambrischen Paradoxides stehen der Organisation einer rezenten Homarus nicht nach. Die kambrischen Cystoida sind ebenso fein differenziert, wie ein rezenter Seestern und die kambrischen Brachiopoden unterscheiden sich in keinem Punkt ihrer Organisationshöhe von ihren heutigen Nachkommen.

Die Hydrosphäre, als die Urheimat allen Lebens, wird seit dem Untersilur von einer phyletisch einheitlichen Tierwelt erfüllt. Zwar blüht dann in den einzelnen Perioden der Erdgeschichte bald die eine, bald die andere Gruppe auf, manche Zweige des Stammbaums veröden oder verschwinden ganz aus der Lebewelt, aber niemals entfaltet sich seit dem Untersilur ein völlig neuer Tierstamm unter dem Wasserspiegel, immer begegnen wir in dem Schichtenstoß von mehr als 25 000 m denselben Typen.

Es kann auch während dieses langen Zeitraums niemals wieder dazu gekommen sein, daß eine unübersteigliche Schranke den Weltozean in mehrere Wasserkörper zerlegte — denn eine solche würde nach kurzer Frist die Wasserwelt in mehrere Reiche zerlegt haben, die seither, etwa wie die beiden präkambrisch differenzierten Brachiopodengruppen, neben-

einander lebten. Irgendwo hätte das scharfe Auge des Paläontologen eine solche Gabelung der Formenkreise entdeckt. Aber wir sehen, daß sich die systematische Zusammensetzung des Wasserreiches in regelmäßigem Schritt verwandelte, so daß in jedem Abschnitt der Erdgeschichte andere Arten in anderen Synusien lebten. Beruht doch auf dieser Tatsache die zeitliche Gliederung der Erdrinde und alle praktischen Erfolge der Flözbergbaues in der ganzen Welt.

Innerhalb des universellen Weltmeeres, für dessen tiefere Wasser nirgends eine Schranke bestand, das daher überall und in jeder geologischen Periode eine einheitlich gesalzene Lösung darstellt, in welcher überall dieselben Tiere, nur durch Licht und Bodenfazies gegliedert, dieselben osmotischen Lebensbedingungen fanden, wurden die spezifischen Charaktere überall in dem gleichen Schritt durch die allmähliche Umwandlung des Salzgehaltes in jene Endformen geprägt, die wir als Arten bezeichnen.

So finden die Grundtatsachen der Geologie: der gleichmäßig irreversible Artwechsel und die biologische Einheit jeder der verschiedenen Perioden in der marinen Umwelt in den früher ausgeführten Vorgängen ihre befriedigende Erklärung.

Literatur

Brandt, K., Über den Nitratgehalt des Ozeanwassers und seine biologische Bedeutung. Nova Acta. der Acad. Leop. Bd. 100 — Driesch, H., Organische Regulation. Leipzig 1901. — Dürken, Bernhard, Einführung in die Experimentalzoologie. Berlin 1919. — Fox, J.J., On the coefficients of absorption of the atmosphaeric gases Kopenhagen 1907 nach G. Merz, Das Meerwasser im Handbuch der Balneologie. Leipzig 1916 S. 413. — Herbst, C., Formative Reize in der tierischen Ontogenese. Leipzig 1901. — Herbst, C., Über die zur Entwicklung der Seeigellarven notwendigen anorganischen Stoffe. Arch. f. Entw.-Mechanik. Bd. V. 1897. — Heubner, W., Der Mineralstoffwechsel. Dietrich u. Kaminer, Handbuch der Balneologie, 1922, S. 181. — Hintz u. Grünhut, Die Mineralwasser. Dietrich u. Kaminer, Handbuch der Balneologie, Leipzig 1916, I, S. 314. — Höber, Physiolog. Chemie der Zelle. 4. Aufl. 1914. — Joly, J., An Estimate of the Geological Age of the Earth Scient. Trans. of the Roy. Dublin Society (2) 7. 1899 p. 44. — Loeb, J., Untersuchungen über künstliche Parthenogenese. Leipzig 1906, S. 303. — Loeb, J., Die chemische Entwicklungserregung des tierischen Eies. Berlin 1919. — Loeb, J., The role of salt in the perservation of life. Science N. S. Vol. 34, 1911. — Maas, O., Einf. in die exp. Entwickelungsgeschichte. Wiesbaden 1903. — Mackie, W., The saltness of the sea in relation to the geological age of the earth Transaction of the Edinburgh Geol. Soc. S. 1903. 240—255. — H. Meyer und J. Schütz, Pharmakologie der Mineralwässer in Dietrich u. Kaminer, Handbuch der Balneologie, Leipzig 1922, II. S. 133. — Nathansohn, A., Sur l'influence de la circulation verticale des eaux sur la production du Plankton marin (Bull. Musée Océanogr. de Monaco No. 62, 12. Fevrier 1906 — Przibram, H., Experimental-Zoologie 1909. — Przibram, H., Physiologie der Formbildung. Handbuch der vergleichenden Physiologie, Jena 1910—1914, S. 447 f. — Steinmann, G., Über den Chemismus in der Wüste. Ber.-Vers. Niederrh. Ges. f. Natur- u. Heilkunde, Bonn 1924, S. 1. — Walther, J., Das Gesetz der Wüstenbildung in Gegenwart und Vorzeit. 4. Aufl., Leipzig 1924. — v. Wolff, F., Der Vulkanismus. Bd. I, Stuttgart 1913.

62. Das Reich der Luftatmer

Ganz andere Tatsachen und andere Probleme liefert uns die paläontologische Geschichte der Landwelt. Wir beobachten hier, daß jeder Kontinent eine anders geartete Synusie enthält und daß oftmals deren „phyletisches Alter" grundverschieden ist.

Gleichzeitig mit den spättertiären placentalen Herdentieren Afrikas und Eurasiens lebt die alttertiäre Beuteltierfauna Australiens. Der untertertiäre Bernstein umschließt rezente Insektenarten, und die Flora der Braunkohlenlager läßt sich meist auf rezente Gattungen und Arten beziehen.

Auch wenn wir ältere festländische Floren ins Auge fassen, treten uns ähnliche Erscheinungen entgegen, die sich schwer einordnen lassen in die beständig wechselnde Stufenleiter der marinen Fauna. Ich erinnere an die jahrzehntelangen Kämpfe um die stratigraphische Einordnung der nordamerikanischen Dinosaurierschichten oder der indischen Glossopterienflora und an die schwierigen Probleme, welche die chronologische Stellung der indischen Rajmahalflora aufrollte.

Aber auch die auffallende Tatsache, daß die Umgestaltung der festländischen Flora nicht mit den historischen Grenzen der marinen Formenreihe zusammenfällt, daß ganz neue Pflanzengruppen an der Wende zwischen Unterperm und Oberperm auftreten, daß die Laubbäume mitten in der nach ihren Meerestieren als einheitliche Periode erkannten „Kreidezeit" erscheinen, regt merkwürdige Fragen an.

Viele Paläontologen haben diese Tatsache ebenso erklären zu können geglaubt, wie man früher die transgredierend auftretenden Meeresfaunen betrachtete, und sahen in den neuerscheinenden Formengruppen nur zufällige Fundorte in einer kontinuierlichen Entwicklungsweise.

Aber wir glauben, daß diese scheinbar paradoxen Erscheinungen mit dem eigenartigen Gegensatz zusammenhängen, der das Leben der Landwelt von dem der Wasserwelt so grundsätzlich unterscheidet.

Das Weltmeer war und ist eine tellurische Einheit; in seinen Sedimenten und seiner Bodenwelt den Gesetzen des solaren Klimas entzogen, von der Lage der Pole und der Wendekreise nicht beeinflußt, ohne Grenzen und ohne Schranken, überall mit einer autotrophen Lebewelt erfüllt, die nahrungspendend mit jeder transgredierenden Bewegung überall auftritt und überall eine heterotrophe Tierwelt ernähren kann. So konnte sich unter dem Einfluß wiederkehrender Transgressionen und des beständig wechselnden Salzgehaltes eine immer in neue Arten geprägte, aber doch phyletisch kontinuierliche Lebewelt darin verbreiten.

Nur die, durch den Kreislauf des Wassers, vom Ozean abgesonderten limnischen und salinischen Gewässer des Festlandes waren vorübergehend dem gleichmäßigen Schritt der Umbildung mariner Formenkreise entzogen.

Grundsätzlich andere Umstände beeinflußten jedoch stets die biologischen Schicksale der über dem Wasserspiegel atmenden und

lebenden Organismen. Ein jedes, durch vulkanische Aufschüttung tektonische Hebung, lithogenetische Sedimentbildung oder eine andere ingredierende Bewegung des Wassers aus dem Wasserspiegel auftauchende Festland, ist zuerst eine Insel und muß zunächst eine Wüste sein, denn eine direkte Verwandlung von untergetauchten Wasserorganismen in luftlebenden Wesen ist nur ein einziges Mal in größerem Umfang erfolgt — alle postdevonischen, neuentstehenden Trockenländer mußte also ihre Einwanderer von anderen schon vorher besiedelten Festländern erhalten.

Ob ein solches neuentstehendes Festland eine einzelne Insel oder Inselgruppe blieb oder zu einem großen Kontinent sich verbreiterte, wurde dann entscheidend für die Möglichkeit der Besiedelung und die daselbst Fuß fassenden Arten. Denn da solche Einwanderungen nur durch Meeresströmungen, Flüsse oder Luftströmungen erfolgen können, ist es notwendig, daß proliferierende Teile der Bewohner älterer Festländer für einen Transport geeignet sind, daß sie einen solchen Transport keimfähig überstehen können und daß die vorhandenen Strömungen in der Atmosphäre oder Hydrosphäre das neuaufgetauchte Festland erreichen.

Aber es mußte auch das neue Land ähnliche klimatische Bedingungen haben, wie das Heimatgebiet der Auswanderer. Denn aus einer ariden Wüste kann nur ein Trockengebiet bevölkert und aus einem regenreichen Bergland können nur niederschlagsreiche Länder belebt werden. So tritt das Klima mit all seinen solaren und tellurischen Umständen schon bei der Besiedelung eines neuen Landes entscheidend auf und dasselbe Klima bestimmt auch weiterhin die Schicksale seiner Bewohner.

Die Bionomie ist im Grunde genommen ein Wirtschaftsproblem, und die Verbreitung der Lebewelt ist von den, die Ernährung eines Lebensraumes bestimmenden Faktoren ebenso abhängig, wie die menschliche Kultur. Daher ist eine dauernde Neubesiedlung von größeren Festländern von dem Auftreten einer autotrophen Flora abhängig. Eine einsame kahle Felseninsel kann wohl als Brutplatz und Niststätte für Seevögel oder als Wohnort für Robben und Seesäuger dienen, denn solche Raubtiere finden ihre Nahrung in dem umgebenden Meer — aber die große Mehrzahl der festländischen Gastropoden, Insekten, Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere ist von einer autotrophen festländischen Flora abhängig — stets muß also bei einer solchen Besiedelung die Pflanzenwelt der Tierwelt vorangehen.

So wird die erdgeschichtliche Verbreitung der meisten luftatmenden Tiere ein Problem der Floren-Entwicklung. Aber im Gegensatz zum universellen Weltmeer, dessen Böden von dem Klima nur in geringem Maße beeinflußt werden, ist die festländische, in ähnlichen Lockerböden wurzelnde Pflanzenwelt in ihrer Verbreitung in erster Linie durch den

Verlauf der Küstenlinie bestimmt. Ein isolierter Kontinent, ohne verbindende Inselkette, ein neuauftauchendes Festland und ein durch Senkung im Meer untertauchendes Gebiet hat ein biologisch-klimatisch bestimmtes Eigenleben. Es kann lange Perioden hindurch ein Asyl altertümlicher Formenkreise sein, es kann durch eine vorübergehende Transgression seiner Lebewelt beraubt, schon beim Wiederauftauchen aus dem Wasser durch eine völlig verschiedene Lebewelt besiedelt werden, ohne daß phyletische Beziehungen zu der älteren Flora oder Fauna nachzuweisen wären.

Dann sehen wir in den sich überlagernden Schichtenfolgen sprungweise eine neue Flora und Fauna auftreten und glauben Katastrophen zu erkennen, wo die neuen Einwanderer von verschiedener Seite kamen.

Die bionomische Umwelt der Landwelt stimmt mit der des Meeres darin überein, daß die chemische Zusammensetzung der Mediums des Lebensraums überall dieselbe ist. Überall breitet sich dieselbe Atmosphäre aus, und ihr Gehalt an N und O ist nahezu überall derselbe. Schwankend ist in geringen Grenzen der Gehalt an CO_2.

Obwohl in der heutigen Atmosphäre nur 0,02—0,05% Kohlensäure enthalten sind, so spielt diese geringe Menge doch eine gewisse Rolle bei der Absorption der Wärmestrahlen. Wenn der Kohlensäuregehalt der jetzigen Atmosphäre zu = 1 gerechnet wird, dann ergibt sich folgendes Verhältnis:

Kohlensäuregehalt:

— 0,7	Abnahme der mittleren Jahrestemperatur um					3—3,3°
+ 1,5	Zunahme	„	„	„	„	3—3,7°
+ 2	„	„	„	„	„	4,9—6°
+ 2,5	„	„	„	„	„	6,4—7,9°
+ 3	„	„	„	„	„	7,3—9,3°

Durch tellurische Vorgänge wird nun der Kohlensäuregehalt der Atmosphäre sehr geändert:

Bei vulkanischen Ausbrüchen gelangen ungeheure Mengen von Kohlensäure aus der Pyrosphäre in die Lufthülle, und selbst wenn die eigentliche vulkanische Periode beendet ist, strömen durch Mofetten und Säuerlinge große Kohlensäuremengen nach.

Geringere Mengen werden auch frei bei der Verwitterung und dem Zerfall von plutonischen Gesteinen, in deren Mineralien Kohlensäurebläschen vorkommen. Wenn in einem Granit etwa 30% Quarz und in dessen zahlreichen mikroskopischen Poren etwa 5 Volumina flüssiger Kohlensäure enthalten sind, dann würde aus einem Kubikkilometer Granit eine Menge von 15000 Millionen Liter flüssiger und 900000 Millionen gasförmiger Kohlensäure durch Verwitterung des Quarzes frei werden können. Diese Menge wäre hinreichend, um die Kohlensäurequelle von Nauheim 273000 Jahre zu speisen.

Endlich wird bei der Atmung von Tieren und Pflanzen Kohlensäure gebildet.

Dagegen wird Kohlensäure verbraucht durch die Bildung von Karbonaten bei der Verwitterung und besonders durch den Lebensprozeß der Pflanzen und vieler Meerestiere. Wenn man erwägt, daß alle Kohlenlager und fast alle Kalksteine aus der Atmosphäre und Hydrosphäre stammen, so ergibt sich, daß bei der Bildung dieser organischen Gesteine ungeheure Volumina von freier Kohlensäure festgelegt worden sind. Nach Roger entsprechen die in der Erdrinde aufgespeicherten Kohlenlager einer sechsmal so hohen Kohlensäuremenge, als der Gehalt der heutigen Lufthülle beträgt, und die Kalksteine haben nach Högbom sogar 25000mal mehr Kohlensäure gebunden.

Aber selbst über assimilierenden Wäldern und in 4000 m Höhe läßt sich keine wesentliche Änderung desselben nachweisen, obwohl wir betonen müssen, daß jede Veränderung des CO_2-Gehalts der Luft alle Lebensvorgänge tiefgreifend beeinflußt. Neuere pflanzenphysiologische Versuche haben gezeigt, daß bei erhöhtem CO_2-Gehalt die Ernährung der Kulturpflanzen gesteigert wird und da jede vulkanische Periode eine Steigerung des CO_2-Gehalts der Atmosphäre bedingt, mag manche üppig gedeihende Flora auf solchen Umständen beruhen.

Aber eine Änderung der systematischen Organisation und eine Umbildung der Arten und Gattungen kann damit nicht zusammenhängen.

Schwankend ist auch der Staubgehalt der Luft, und wenn Aitken in Niederungen in 1 ccm Luft 130000 Staubteilchen zählte, die nach Regen auf 32000 vermindert waren, so enthält die Luft auf dem 1880 m hohen Rigi nur noch 400—800 Staubkerne.

Großen Schwankungen ist der H_2O-Gehalt der Luft unterworfen, wobei die Temperatur eine wesentliche Rolle spielt. Denn bei 0° kann die Luft 5 g, bei 30° aber 30 g Wasserdampf tragen. Diesem veränderlichen Sättigkeitsgrad entsprechend, wird der Wassergehalt bei jeder Abkühlung vermindert und als Tau, Regen oder Schnee niedergeschlagen.

Eingehende Untersuchungen über den Einfluß der Feuchtigkeit der Luft auf das Leben der Menschen haben ergeben, daß Temperaturschwankungen bei trockener Luft viel weniger schädlich sind, als bei hohem Feuchtigkeitsgehalt — aber da die festländische Pflanzenwelt gerade am üppigsten bei feuchter Luft gedeiht, sind solche Gegenden durch eine besonders reiche Flora ausgezeichnet und bieten daher der Tierwelt auch reichere Nahrung.

Das erdgeschichtlich bedeutsamste Ereignis einer Einwanderung wasseratmender Lebewesen auf das Festland ist mit der Bildung der Steinkohlen eng verknüpft, deren lithologische Umwelt in einwandfreier Weise zeigt, wie sich dieser Vorgang vollzog.

Kohlenstoffreiche Sedimente sind zu allen Zeiten der Erdgeschichte gebildet worden, aber die vorkarbonischen „Kohlen" sind in der Regel so stark mit anorganischen Trümmern vermischt, daß sie technisch nicht bauwürdig werden. Auf den algonkischen Schungit der Ostseeprovinzen folgt im kambrischen Ton von Kunda eine kohlenreiche Einlagerung; dann enthalten die silurischen Graptolithenschiefer bis 23 % Kohlenstoff. Im Devon bei Neunkirchen war ein 60 cm mächtiges ziemlich reines Kohlenflöz aufgeschlossen. Die Grenzschichten zwischen Devon und Karbon zeigen in zahlreichen deutschen Profilen auf den marinen Clymenienkalken pflanzenreiche sog Rußschiefer und darüber folgen wieder marine Einschaltungen. Das Unterkarbon bei Moskau beginnt mit Sanden und marinen Kalken, die mit Steinkohlen wechsellagern. Im Hangenden folgen nochmals marine Schichten. Im westlichen und östlichen Ural wechseln bis zum 66. Breitengrad marine Schichten mit unterkarbonischen Kohlen. Am genauesten bekannt ist das Profil der reichen Kohlenflöze im Gebiet des Donjez und Don, dessen pflanzenführende Schichten durch marine, fossilreiche Kalke unterbrochen werden. Auf graue Kalke mit Productus giganteus folgen dünne Kohlenschmitzen, auf Kalke mit Productus semireticulatus farnreiche Sandsteine und dünne Kohlenflöze. Die spiriferreichen Kalkschichten wechseln dann mit acht Kohlenflözen von 35—75 m Mächtigkeit. Dann treten wieder Meeresschichten mit Productus Flemingi auf und es folgen sieben Kohlenflöze von je 1 m Mächtigkeit. Abermals kommen marine Gesteine, darüber zwölf Kohlenflöze, jedes fast 2 m mächtig. Im beständigen Wechsel mariner Kalke, Tone und Sandsteine mit dünneren Kohlenflözen baut sich das Profil weiter auf und endet mit dem echt marinen Schwagerinakalk.

Zwischen den Steinkohlenlagern von Oberschlesien sind bei Königshütte elf, bei Ostrau vier marine Horizonte eingeschaltet. Die Meeresfauna setzt sich aus kleinen Formen zusammen. Dünnschalige Muscheln, jugendliche Goniatiten, abgeriebene Orthoceren, hornige Brachiopoden sind nicht identisch mit den im osteuropäischen Kohlenkalk bekannten Arten, stimmen aber vollkommen überein mit der Fauna, die in England und Schottland zwischen den Kohlenflözen auftritt. In den etwa 700 m mächtigen Steinkohlenablagerungen von Fife findet sich eine marine Einschaltung.

Im Ruhrgebiet enthalten dunkle Schiefertone zahlreiche zerbrochene Schalen kleiner Goniatiten, Clymenien, Schnecken und Muscheln. In Westfalen ruhen auf Sandstein mit kleinen Kohlenflözen marine Schichten mit Goniatites, Cypridina, Nautiliden und Krinoiden, dann kommen die abbauwürdigen Kohlenflöze. Marine Zwischenschichten finden sich im Kohlengebirge der karnischen Alpen und bis nach Asturien. Dasselbe Phänomen tritt uns in Nordamerika entgegen, wo in einem 450 m mächtigen Profil zwischen den Kohlenflözen wiederholt Gesteine mit Productus

longispinus, Spirifer und Athyris auftreten. Ja selbst in China schalten sich Meereskonchylien den Kohlenlagern ein.

Überblicken wir alle diese Profile, denen man aus nachkarbonischen Schichten kaum eine ähnliche Wechsellagerung an die Seite setzen kann, so tritt klar hervor, daß im Umkreis der ganzen nördlichen Halbkugel überall die Steinkohlen in nächster Nähe des Strandes gebildet worden sind.

Dieselbe Erscheinung tritt uns dann in Australien entgegen, wo die Kohlen mit oberkarbonischen und unterpermischen Schichten wechsellagern und sogar ausgedehnte glaziale Blocklehme damit verbunden sind. Die Einschaltung der schon früher erwähnten ammonitenreichen Schichten am Ussurifluß beweist, daß die Eisdecken ebenso wie in der Saltrange bis ins Meer reichten und von hier als Eisbergdrift weiterschwammen. Kurz, an der litoralen Natur vieler Steinkohlen kann man nicht zweifeln.

Wichtig aber ist es, daß in Europa neben den genannten „paralischen" Steinkohlen auch limnische Kohlenflöze ohne marine Einschaltungen im Saarbecken, Sachsen, Niederschlesien und Böhmen vorkommen — daß also mit anderen Worten die Nähe des Meerwassers nicht notwendig war für die Bildung mächtiger flözführender Schichtenfolgen.

Vergleichen wir nun mit den geschilderten Profilen das Auftreten aller späteren Kohlen, so sehen wir, wie in der Jura-, Kreide- und Tertiärformation zwar mächtige Kohlenflöze gebildet werden, aber niemals wieder in Verbindung und Wechsellagerung mit marinen Sedimenten.

Die marinen Zwischenschichten der paralischen Flöze sind so geringmächtig und ihr mariner Fossilgehalt tritt wie Kukuk besonders hervorhebt, ohne Änderung des Gesteinscharakters auf, daß der Fossilwechsel nicht mit einem Fazieswechsel verbunden ist.

Endlich zeigt uns die Fauna selbst, daß es sich wesentlich um die passive Drift von gekammerten Goniatiten handelt, neben denen einige Muscheln auftreten, die wegen ihrer zarten kalkarmen Schale als euryhalin betrachtet werden müssen.

Aus den Eigenschaften der mit den karbonischen und permischen Steinkohlen verknüpften Gesteine lassen sich aber noch andere klimatische Schlüsse ziehen. Das kohlenführende Karbon in England und Schottland wird durch Ablagerungen roter Sandsteine begrenzt, die als Oldred eine Mächtigkeit von über 3000 m, als Newred eine solche von 1000 m erreichen. Daß man diese so altersverschiedenen Gesteine so lange verwechseln konnte und erst auf Grund ihrer Lagerung unterscheiden lernte, ist ein sprechender Beweis für die lithologische Übereinstimmung, zugleich aber dafür, daß genau dieselben klimatischen Bedingungen vor und nach der Karbonzeit in England herrschten. Da nun das Oldred ohne scharfe Grenze ganz allmählich in das Unterkarbon übergeht, so muß sich auch das kohlenbildende Klima in ganz all-

mählichen Übergängen aus dem Klima des alten, roten Wüstenlandes entwickelt haben.

Verfolgen wir in ähnlicher Weise die Gesteinsfolge in Deutschland, so tritt uns in Böhmen, ebenso wie in ganz Mitteleuropa, mitten zwischen zwei kohlenreichen Perioden eine pflanzenarme, rotgefärbte Zwischenbildung auf, die bis 1000 m mächtig ist, keine Wassertiere enthält und außer Nadelhölzern auch nur ganz kümmerliche Spuren von Pflanzen liefert. Die unzähligen Farne, Schachtelbäume und Siegelbäume der vorhergehenden Kohlenperiode sind vollkommen verschwunden und treten doch in unverminderter Formenfülle nach der Bildung der roten Sandsteine und Konglomerate wieder auf, um abermals mächtige Kohlenflöze zu begleiten. Der Übergang der liegenden und hangenden Schichten erfolgt auch hier ganz allmählich.

Die Einschaltung des marinen Zechsteins, dessen unterste Schicht, der Kupferschiefer, nichts weiter als eine „aschenreiche Kohle" zwischen Rotliegendem und Buntsandstein ist, unterbricht die weitere Folge festländischer Bildungen, aber wenn wir von dem Intermezzo des Zechsteins absehen, so schließt auch in Deutschland die Kohlenbildung des Rotliegenden mit der Ablagerung von 500 m roten Sandsteinen, die ein Gegenstück zu dem englischen Newred bilden.

Die Steinkohlenbildung ist also eingeschaltet oder unterbrochen durch Bildungen, welche nach dem früher Gesagten auf ein trockenes, regenarmes Wüstenklima hindeuten und aus allem ergibt sich, daß die Festländer der Steinkohlenperiode noch unbewachsen waren, daß rote Verwitterungsdecken, rote Schutthalden und rote Tonebenen noch völlig leblose Wüsten waren, während sich in der Sohle der wasserreicheren Täler die ersten „Gallerie-Wälder" der festländisch gewordenen Pflanzen zeigten.

Dieses Wüstenland wurde dann in der Folgezeit zum Gebiet der Kohlenbildung und nach dem Abschluß dieser Schichtenfolgen trat an derselben Stelle der Erdrinde wieder die rote Wüste in ihre alten Rechte.

Der Flachwassercharakter der Kohlenbildung kann somit nicht bezweifelt werden; es ist auch undenkbar, daß der dort aufgehäufte Pflanzenmoder vom Festlande stammte, denn sonst würden hier nicht rote, sondern dunkelgefärbte Ablagerungen verbreitet sein.

Nur eins scheint im Widerspruch mit dieser Auffassung zu stehen, nämlich die allgemein verbreitete Annahme, daß die kohlebildenden Pflanzen „über dem Wasserspiegel" gewachsen seien, also schon der luftatmenden Lebewelt angehört haben.

Da ich selbst früher diese Ansicht geteilt und sogar versucht habe auf Grund derselben karbonische Pflanzentypen zu rekonstruieren, wird man mir glauben können, daß triftige Gründe mich von der Unrichtigkeit jener allgemein verbreiteten Hypothese überzeugt haben.

Verschiedene Beobachter haben schon auf die merkwürdige Tatsache hingewiesen, daß man oft die Fiederblättchen karbonischer Farne mit kleinen spiraligen Kalkröhren (Spirorbis) besetzt sieht, die ebenso auf den Schalen von Meerestieren sitzen, die in paralischen Flözen eingelagert sind. Alle Autoren stimmen darin überein, daß diese Kalkschälchen unter Wasser gewachsen sein müssen und da die Farnblätter ganzrandig sind und keine Verwesungsspuren zeigen, müssen auch die betreffenden Farne unter Wasser gewachsen sein. Wir werden an die 5 m hohen Farne erinnert, die auf der Insel Batchan in Sümpfen wachsen, in welche zeitweise das Meerwasser eindringt.

Aber noch viel eindeutigere Zeichen für das Wasserleben vieler karbonischer Pflanzen gewinnen wir beim Studium der großen Wurzelstöcke von Sigillaria, Lepidodendron oder Calamites, die oft 20—40 cm im Durchmesser, und aufrecht im karbonischen grauen Sandsteine stehen und die man als Zeichen dafür betrachtet, daß die Kohlenflöze bodenständig gewachsen seien. Untersuchen wir diese Stammstrünke genauer, so finden wir erstens, daß sie niemals bis zur Spitze reichen, sondern in einem Abstand von 1—2 m, oft aber noch tiefer abgerissen sind. Dann sehen wir ihr Inneres nicht mit Pflanzengewebe, sondern mit demselben Sand wie das umgebende Gestein erfüllt. Es ist ausgeschlossen, daß diese große Röhre ein festes Gewebe enthielte, denn wir finden handgroße Bruchstücke der Rinde ebenfalls in dem Sand, der das Innere ausfüllt.

Wir schließen daraus, daß diese Stämme schon während ihres Lebens hohl waren und daß sie, wie gewaltige Schläuche mit Wasser gefüllt, im Wasser standen. Riß ein solcher dicker Schlauch ab, dann füllte sich der offene Hohlraum mit Sand, wobei Fetzen der zerrissenen Wand mit hinein gerieten. Es erscheint uns dagegen biologisch ganz undenkbar, daß diese elastischen Schläuche auf dem trocknen Land gewachsen seien, wo die trockene Luft sie töten und der Sturm sie abreißen mußte, bevor sie zu solchen Dimensionen heranwachsen konnten, wie wir sie oft beobachten. Brachen die hohlen Stämme ab und fiel der wassererfüllte Schlauch auf den Boden des Kohlensumpfes, dann konnte nur wenig Sediment in das Lumen hineindringen und so erscheinen uns die liegenden Steinkohlenstämme „zusammengedrückt" — nicht weil eine schwere Sedimentdecke später über ihnen abgelagert wurde, sondern weil ihr hohler Schlauch rasch kollabierte.

So betrachten wir also die wichtigsten Pflanzen der Steinkohlenperiode als Wassergewächse, die bis zum Blattschopf unter dem Wasserspiegel standen, über den nur das Blattgewirr der blütentragenden Gipfel in die Luft reichte.

Inzwischen hatten aber andere Pflanzengruppen schon die breite Sohle der Flußtäler erreicht, bildeten hier das erste elastische Stützgewebe

aus, und so sehen wir hier die Ginghophyten und Urkoniferen am Ufer der großen Wasserbecken, in denen der Moder der Steinkohlenpflanzen gesammelt wurde.

Der Mangel aller Jahresringe an den karbonischen Pflanzen und besonders ihre weltweite Verbreitung ist also nicht etwa dadurch zu erklären, daß es damals „noch keine Klimazonen" gegeben habe, sondern hängt damit zusammen, daß diese Flora unter Wasser lebte, und daher den klimatischen Einflüssen entzogen war, die nur die Lebewelt des Festlandes in ihrer Lebensweise und Verbreitung regeln.

Nach dieser wechselvollen Übergangszeit wurde von den letztgenannten Pflanzen rasch das Festland erobert und die neue Flora breitete sich über den größten Teil der Erdkugel aus. Allerdings blieben schon damals zwei Klimagebiete pflanzenarm, nämlich die polaren Schnee- und Eisgebiete und sodann die zwischen der humiden und der pluvialen Zone sich ausdehnenden ariden Wüsten.

So finden wir seit dem Perm die Erde mit Vegetationszonen bedeckt, die, durch Gebirge und Küsten vielfach gegliedert, besondere Florenreiche bilden.

Das Klima ist für die Lebensbezirke des Festlandes von so grundlegender Bedeutung, daß ihm gegenüber die lithologische Beschaffenheit der einzelnen Faziesbezirke etwas in den Hintergrund tritt. Obwohl der Unterschied zwischen den großen morphologisch einheitlichen Sockeln der Kontinente und den über das Wasser emporragenden kontinentalen oder insularen Festländern geographisch scharf zu definieren ist, so werden in der geologischen Literatur doch beide Begriffe immer wieder verwechselt, und irrige Schlüsse sind daraus gezogen worden. Ein großer Binnensee gehört, selbst wenn er einmal vom Meere abgegliedert worden ist, zum Festland, und wenn eine flache Wüstenebene vorübergehend vom Meere überflutet wurde, so werden nach der marinen Invasion doch wieder festländische Gesteine darauf abgelagert. Wenn ein submariner Vulkan über den Wasserspiegel emporwächst, so lagern sich nicht „kontinentale", sondern festländische Sedimente über den marinen Sockel.

Nur das Festland steht unter dem direkten Einfluß des solaren Klimas, nur hier finden wir Klimazonen, nur hier ist die Organismenwelt in räumlicher Abhängigkeit von der Lage der Erdachse. Daher sind nur festländische Gesteine und geobiotische Organismen für die Grundlagen einer paläogeographischen Darstellung zu verwerten.

Das Festland ist das Gebiet, wo Erosion, Deflation und Exaration ihre abtragende Tätigkeit entfalten und Verwitterungsdecken gebildet werden; sogar die Abrasion kann man mit einem gewissen Recht als festländisch wirkende Denudationskraft betrachten. Es ist daher die An-

sicht weit verbreitet, daß auf dem Festland nur Abtragung erfolge und die Abtragungsprodukte schließlich alle nach dem Meere ausgeräumt werden, so daß jede konkordant geschichtete Ablagerung am Meeresgrund, jede diskordante Lücke auf dem Festland entstanden sei. Paläogeographische Karten bringen diese Annahme dadurch zum Ausdruck, daß sie alle aus einer bestimmten Zeit bekannten Gesteine als damaligen „Meeresboden“ darstellen und die dann übrig bleibenden Lücken der Karte als „kontinental“ betrachten.

Nur unter langen Kämpfen hat sich allmählich die Überzeugung durchgerungen, daß in dem Schichtenbau der Erdrinde nicht allein marine sondern auch festländische Gesteine enthalten sind, daß diese oft ebensogut geschichtet sind und oft eine ebenso reiche Tierwelt enthalten, wie die Sedimente, die unter dem Meeresspiegel entstanden sind.

Man darf sich daher nicht damit begnügen, den Umfang ehemaliger Kontinente nach dem regionalen Fehlen mariner Gesteine zu beurteilen, denn solche können bei einer regionalen Abtragung restlos verschwinden. Vielmehr müssen wir aus positiven Merkmalen den Charakter und die Ausdehnung eines fossilen Festlandes zu beweisen suchen.

Jedes Klimaproblem ist notwendigerweise mit der Frage nach der Lage der Erdachse und der Richtung der Breitengrade verbunden.

Die rezente Gegenwart bietet uns zwar eine Fülle von Tatsachen, die sich nach der ontologischen Methode auch auf die Klimagebiete der Vorzeit übertragen lassen. Allein wir haben schon mehrfach gewarnt, diesen „aktualistischen“ Grundsatz ohne sorgfältigste Kritik anzuwenden. Denn die geologische Gegenwart ist nicht eine sich selbstbedingende Zeitperiode, sondern kann in ihrer lithologischen und biologischen Eigenart nur als Folgeerscheinung der vorhergehenden Diluvialzeit verstanden werden.

Man könnte sie vielleicht mit der Triaszeit vergleichen, die ebenfalls auf eine große Schneezeit folgt. Denn jede Periode der Erdgeschichte ist nur auf dem Hintergrund der vorhergehenden Zeit zu verstehen. Wenn wir z. B. das unterpermische Meer zeichnen wollen, so müssen wir zuerst den oberkarbonischen Ozean umgrenzen. Wenn uns die Bergländer des rotliegenden Festlandes oder die untertauchende Inselgruppe des Zechsteinmeeres interessieren, sollen wir zunächst, wie dies B. v. Freyberg in vorbildlicher Weise getan hat, die Ketten des varistischen Gebirges verfolgen und wenn uns das Grundkonglomerat, das unter dem Cenoman liegt, beschäftigt, so gilt es zuerst, die Abflußrinnen des neokomen Festlandes zu studieren.

Die allgemeinen Gesichtspunkte, die bei einer lithologischen Analyse des Klimas irgendeiner früheren Zeit maßgebend sein müssen, haben wir in früheren Abschnitten dieses Buches auseinandergesetzt. Hier wollen

wir nur die biologischen Elemente einer solchen Untersuchung kurz wiederholen:

Die festländischen Erscheinungen, die das Leben der Luftatmer regeln, lassen sich in tellurische und solare zerlegen:

Tellurisch und von vorwiegend inneren Vorgängen bedingt sind alle topographischen Umstände: der Gegensatz von Hochgebieten und Tiefländern, das Streichen der Faltengebirge und die Anordnung vulkanischer Berge, der Verlauf der Küstenlinie, soweit er im Bau des Landes begründet ist, die Tiefe der Meeresbecken und der festländischen Senken sind Wirkungen von Vorgängen innerhalb oder unterhalb der Lithosphäre.

Solar ist das Klima, so weit es von der Lage der Erdachse und dem Verlauf der Breitengrade bestimmt wird. Jedenfalls sind alle „Klimazonen" ein Geschenk der Sonne.

Auf solaren Einflüssen beruht daher die Assimilation, die Verteilung von autotropher Pflanzennahrung und den davon lebenden heterotrophen Tieren. Solar verursacht sind die Bewegungen der Hydrosphäre, das Fließen der Flüsse und der Meeresströmungen, welche die Organismen verteilen, sowie die Richtung und Stärke der Winde, die ihre Samen verbreiten. Solar ist die Wärme und das Licht, das die Pflanzen und Tiere brauchen, solar die Nahrung, die sie suchen.

Wenn wir daraufhin die einzelnen Klimagürtel vergleichen, so müssen wir mit der ausgedehntesten und wichtigsten Region beginnen, die uns durch die Fülle ihres Lebens beweist, daß sie auch die Heimat der Luftatmer ist.

1. Die pluviale Zone des Äquatorialklimas umfaßt heute etwa die Hälfte der Erdoberfläche und bildet einen einzigen breiten Gürtel um dieselbe. Hohe Temperatur und starke Niederschläge, oft unterbrochen durch regellose Trockenzeiten bedingen eine sehr intensive Verwitterung aller Gesteine und der Überschuß des Regenwassers räumt die Verwitterungsprodukte durch große Ströme nach dem Meere aus. Allein der dichte Urwald oder Buschwald, der die meisten Flächen überzieht, hält vielfach die braunen Verwitterungsdecken fest, verwesender Pflanzenmoder erzeugt darin dunkle Schwefelverbindungen und färbt den Urwaldboden bis in beträchtliche Tiefe.

Die durch Faltung oder vulkanische Aufschüttung entstehenden Gebirge werden infolge der tiefgründigen Verwitterung und der regenreichen Flüsse rasch abgetragen und leicht in flachgewellte Fastebenen verwandelt. Aber auch die Bildung weiter sumpfiger Ebenen wird dadurch sehr begünstigt. In ihnen entstehen wohlgeschichtete Sedimente von riesiger Ausdehnung, bald mit individuenreichen Faunen des Süßwassers erfüllt, bald vom Meere aus mit den Resten mariner Formen überstreut.

Die hohe Wärme und die Luftfeuchtigkeit begünstigen die Entwicklung des Urwaldes, dessen Reichtum an Gattungen und Arten fabel-

haft ist. Mächtige Stämme mit dichtem Rankwerk und blattreichen Epiphyten bewachsen, sinken endlich vermodernd zu Boden, und man sollte glauben, daß humusreiche Böden für diese Zone besonders charakteristisch wären, daß also hier das eigentliche Kohlenbildungsklima zu suchen sei. Aber das ist nicht der Fall. Denn unter denselben Umständen, unter denen sich die reiche Flora entfaltet, gedeihen auch die zellulose-zerstörenden Bakterien. Sie zerlegen rasch die sterbenden Gewebe zu Gasen und Lösungen, die in den Flüssen dahintreiben. Nur in tropischen Bergländern oder an der Küste werden Humusablagerungen gebildet.

Das Tierleben des schattigen Urwaldes ist verhältnismäßig arm, und auch die Möglichkeiten seiner Erhaltung sind wegen der Fäulnisbakterien gering.

2. Um so günstiger erscheint die Grenzregion nach der benachbarten ariden Wüstenzone, wo im Wechsel der Jahreszeiten und im Wandel geologischer Perioden der höchste Überfluß und die größte Armut auftreten, bis der Einfluß der Pluvialzone immer geringer wird und zuletzt nur noch in seltenen Ruckregen sich geltend macht.

Wenn das nivale und humide Gebiet zum Meere entwässert wird, so fehlen der ariden Region die dauernden Abflußrinnen und so wird sie zu einem Stapelplatz für alle darin entstehenden Verwitterungsprodukte. Die Senken füllen sich mit anorganischen Trümmergesteinen, fern vom Meere und ebenso unter. wie über dessen Spiegel. Eine intensive Verwitterung zertrümmert alle Berge und zerlegt selbst die härtesten Gesteine in Schutt, Sand und Staub. Jener wird durch seltene aber kräftige Regengüsse nach den Niederungen getragen und füllt tiefe Wannen mit geschichteten, meist fossilleeren Ablagerungen. Der Sand wird durch den Wind in Sandmeeren zusammengeweht und bildet mächtige Sandsteinmassen. Flüsse und Seen entstehen und vergehen zwischen den äolisch bewegten Sanddünen, aber da selbst die größten Flüsse versickern und verdampfen und hierbei ihre Länge beständig wechselt, bilden sich (wie am schwankenden Eisrand glaziale und interglaziale Gesteine wechsellagern) auch in der Wüte neben und übereinander wasser- und windgeschichtete Sandsteine. Nur der Staub wird durch den Wind entführt und gelangt nach langer Wanderung bis in die Becken der Tiefsee.

Ebenso wichtig wie die gewaltigen Trümmergesteine, sind die chemischen Niederschläge in der ariden Region. Nur hier werden alle Lösungen bis zur Trockne eingedampft, nur hier entstehen Salzlager und die sie begleitenden Gipse.

Trotz ihrer Lebensarmut enthält doch die Wüste, besonders in der pluvio-ariden Randzone, eine Fülle von Möglichkeiten zur Verbreitung und besonders zur Erhaltung von Spuren des Lebens. Die Trockenseen sind oft lange Jahre mit Fischen, Mollusken und Krebsen gefüllt, bis sie sich

in salzige Tonebenen verwandeln, in deren wohlgeschichteten Ablagerungen selbst die zartesten Fossilreste erhalten werden.

3. Geologisch von untergeordneter Bedeutung ist die humide Zone in unseren Breiten. Sie wird durch dauernde Flußrinnen so stark ausgeräumt, daß wir fast überall Denudationsflächen durch Abtragung entstehen sehen. Nur im Schutze der Vegetationsdecken bleibt der Verwitterungsschutt erhalten, doch gleitet auch er an den Bergabhängen zu den Flußtälern hinab. Auch die Schaltseen werden nur selten mit Sedimenten völlig ausgefüllt und die regellos verteilten Überreste alter Flußterrassen bezeichnen uns am besten, wie stark die ausräumende Tätigkeit der Erosion im zerschnittenen Gelände ist. Nur in den Niederungen, wo der Grundwasserspiegel bis zur Oberfläche steigt, kommt es zur Ausfüllung von Senken durch Flußsand, Auelehm oder Torflager. Braune und gelbe Farben sind bezeichnend für die Verwitterungsdecken der humiden Region und bestimmen vielfach auch die Farbe der daraus umgelagerten Trümmergesteine.

Die Lebewelt unterscheidet sich von derjenigen der Tropenländer durch ihre Artenarmut; doch tritt sie dafür oft in großer Personenzahl auf. Der durch die Jahreszeiten bedingte Wechsel aller lithogenetischen und bionomischen Umstände zerstört leicht die bleibenden Spuren, so daß gerade diese, von den meisten Kulturmenschen bewohnten Regionen geologisch am schwersten definiert werden können.

Was der „Winter" in der gemäßigten Zone vorübergehend schafft und vorbereitet, gilt als bezeichnender Charakter für:

4. Die nivale Region; sie wird einen großen Teil des Jahres durch Schnee- und Eisdecken überzogen und nur die daraus hervorragenden Felsenkämme und Klippen bleiben dem Einfluß der fließenden Eisdecken entzogen. Das übrige Gebiet sondert sich in zwei scharf getrennte Teile. Soweit die Eisdecken über den Untergrund gleiten, räumen sie allen Verwitterungsschutt hinweg und erzeugen allmählich durch Korasion eine gerundete schuttfreie Felsenfläche mit buckligen Rundhöckern, die im Lee rauh und uneben sein können, oft aber allseitig mit Schliff und Kritzen bedeckt sind. Einstige Erosionsrinnen von V-förmigem Querschnitt werden in U-Täler verwandelt und überall bildet sich eine ausgeprägte glaziale Diskordanz.

Grundverschieden ist das Gebiet, wo die Eisdecken schmelzen. Hier häufen sich zunächst als ungeschichteter Geschiebelehm ungeheure Schuttmassen auf, die durch die Schmelzwasser in Blockmeere, Kiesflächen, Sandfächer und wohlgeschichtete Bändertone umgelagert werden.

Indem die Region der Exaration und der glazialen Aufschüttung durch Schwanken des Eisrandes ihre Plätze tauschen, bedeckt sich die Exarationsfläche diskordant mit den vorher geschilderten Ablagerungen.

Lokale Umstände erzeugen auf hohen Gebirgen der anderen Klimagebiete nivale Inseln, in denen entsprechende Wirkungen entstehen, die sich steigern, wenn das Gebirge wächst und bei dessen Abtragung allmählich verschwindet, sofern nicht allgemeine klimatische Abänderungen dieses Bild verwickeln. Hier können Gletscher bis an den Rand dichter Wälder vordringen und widerspruchsvolle Profile entstehen.

Ablagerungen, die außerhalb der Eisdecke unter dem Einfluß von stehendem oder fließendem Wasser entstehen, bezeichnen wir als periglazial. Bei wiederholten Schwankungen des Eisrandes werden sie interglazial den Geschiebelehmdecken eingeschaltet und ermöglichen deren Gliederung. Man pflegt solche durch interglaziale Bildungen gegliederte Tillite als Zeichen verschiedener „Eiszeiten" zu betrachten. Aber selbst wenn die Gletscherschwankungen ein großes Ausmaß erreichen, handelt es sich doch nur um Teilerscheinungen in einem einheitlichen erdgeschichtlichen Vorgang, die mit den geologischen Zeiträumen nicht verglichen werden können. Denn wenn im Oberkarbon von Saarbrücken zwischen 6000 m Trümmergesteine 350 Kohlenflöze eingeschaltet sind, müßte man hier mit demselben Recht von ebensovielen „Kohlenzeiten" sprechen.

Neben den geschilderten anorganischen Trümmergesteinen spielen Torflager als interglaziale Bildungen eine untergeordnete Rolle.

5. Unabhängig von den geschilderten Klimazonen sind die Ablagerungen der festländischen Vulkane. Ihre Tuffe und Laven schichten sich in der nivalen Zone ebenso auf, wie in der Wüste oder im Pluvialgebiet und wir können einem monogenen Vulkan nicht ansehen, unter welchen klimatischen Umständen er entstand. Anders ist es bei der Bildung polygener Vulkane, deren Aufschüttung durch Zeiten der Denudation unterbrochen werden. Hier werden wir in der nivalen Zone und auf besonders hohen Vulkanen der anderen Klimagebiete Moränen eingeschaltet finden, in der Wüste werden wir die durch Insolation entstandenen Trümmerhalden, Steinfelder und Aschendünen beobachten und im Pluvialgebiet werden eingeschaltete Verwitterungsdecken, gewaltige Schlammströme und Blocktuffe mit den vulkanisch geschichteten Tuffen wechsellagern.

Wenn wir bedenken, daß die geschilderten Dokumente, für eine klimatische Analyse festländischer Umstände, zum Teil wieder zerstört und die erdgeschichtliche Urkunde dabei unvollständig werden kann, so dürfen wir doch annehmen, daß folgende fossile Erscheinungen leicht erhaltungsfähig sind:

1. Unter den festländischen Sedimenten spielen die fossilen Verwitterungsdecken die wichtigste Rolle, weil ihre Farbe und Eigenart wichtige Hinweise auf die Klimazonen, also die Lage der Breitengrade gibt.

2. Dann sind die glazialen Gebiete als regionale Polarkappen und lokale Vergletscherung höherer Gebirge leicht wieder zu erkennen.

3. Endlich bieten uns die oft ungemein mächtigen Ablagerungen der ariden Wüstengebiete eine Fülle von Dokumenten, um aus ihrer Verbreitung die Lage des Äquators in irgend einer früheren geologischen Periode zu erschließen.

Wir sind von den Voraussetzungen ausgegangen, daß die Sonnenstrahlen auf der Erde bestimmte Klimagürtel bilden, die den heute in der Atmosphäre herrschenden Umständen entsprechen. Aber manche geologischen Erscheinungen machen es wahrscheinlich, daß das zonare Klima der Gegenwart nicht zu allen Zeiten existierte und in doppelter Weise sich änderte, indem entweder eine gleichmäßigere Verteilung der Sonnenstrahlen die Verteilung von Wärme und Niederschlägen vom Pol bis zum Äquator isonom auszugleichen bestrebt war oder ein antinomes Klima mit noch schärferen Kontrasten die Erde beherrschte.

Die Diluvialzeit erscheint uns als eine Zeit solcher abnormer, atmosphärischer Zustände — aber auch die Wende von Kreide und Tertiär, das Ende der Altzeit und die präkambrische Periode haben uns lithologische und biologische Dokumente hinterlassen, die wir in demselben Sinne deuten dürfen.

Das antinome Klima mußte die meteorologischen Gegensätze steigern, und während in den polaren und mittleren Breiten ein regionales Abschmelzen der diluvialen Eisdecken erfolgte und ungeheure Flächen abtrockneten, wurde hier die Deflation die wichtigste abtragende Kraft. Es häuften sich aus dem gröberen Material große Sanddünen mit typischer Bogenform auf und ungeheure Lößlager aus dem feinen windgetragenen Staube. Gleichzeitig setzte aber in den niederen Breiten jene Bildung von roten Lateritdecken ein, deren periglaziales Alter an dem Ferretto der Südalpen leicht zu beweisen ist. Wir vermuten, daß in den Tropen die Niederschläge auf eine kurze Zeitspanne beschränkt, die Erdrinde tief hinab mit Wasser sättigten und daß dann eine lang andauernde Trockenzeit diese Wassermengen wieder verdampfte, so daß im Wechselspiel dieser lebhaften Grundwasserbewegung alle im Boden enthaltenen löslichen Verbindungen durch Einwitterung gelöst und nahe der Erdoberfläche durch Auswitterung wieder ausgeschieden wurden.

Durch Zerstörung und Umlagerung der Lateritdecken entstehen rotgefärbte Konglomerate, rote Sandsteine und rote Letten, die sich besonders in einem ariden Klima erhalten und mit den dort gebildeten chemischen Niederschlägen wechsellagern können.

Auch für die Wirkungen eines isonomen Klimas bietet uns die diluviale und permische Eiszeit wichtige Anhaltspunkte. Denn sobald sich die mittlere Jahrestemperatur der nivalen Zone gegen den Tropengürtel ausgleicht, und da eine Abnahme des Wassergehaltes der Atmo-

sphäre die Niederschläge herabsetzt, müssen darauf Eisdecken und Gletscher schwinden. Es entstehen dann jene uns aus dem norddeutschen Diluvium so wohl vertrauten interglazialen Erscheinungen.

6. Indem wir aus dem Innern der Festländer nach der Küste schreiten, kommen wir in das litorale Gebiet, dessen Ablagerungen unter dem wechselseitigen Einfluß festländischer und mariner Bedingungen entstehen. Es besteht aus dem Strand, der nur bei Sturmflut vom Wasser erreicht wird, und der bei Ebbe immer wieder trocken gelegten Schorre. Durch transgredierende oder regredierende Bewegungen des Meeres wird das lithologische Bild der Litoralzone überaus verwickelt und beständig verlagert. Besonders weitreichend ist der Einfluß des Festlandes auf das Litoral im Mündungsgebiet großer Flüsse, deren Flußtrübe durch das Seewasser so rasch ausgefällt wird, daß sich ein geschlossenes Delta vom Ufer immer weiter gegen das Meer hinausbaut. Die regionale Verbreitung dieser aus Feinsand und Schlamm bestehenden Ablagerungen ist in der Gegenwart so groß, daß man solche auch in weiter Verbreitung im Schichtenprofil erwarten muß. Der Nachweis fossiler Deltaablagerungen ist aber bisher vielfach deshalb nicht gelungen, weil man die Struktur kleiner Schuttkegel an der Mündung geröllreicher Gebirgsbäche in Alpenseen und die damit vergleichbare Struktur mancher Kies- und Sandablagerungen am Schmelzrand des diluvialen Eises für typische Deltabildungen hält und übersieht, daß die Delta der großen Ströme im Meer ganz anders gebaut sind. Man muß die zahlreichen Aufschlüsse im Nil- und Gangesdelta im Auge behalten, um sich klar zu machen, daß hier die sogenannte „Deltaschichtung“ nirgend so zu sehen ist und daß weder grober Sand noch Gerölle in ihnen zu finden sind, vielmehr ein feinkörniger horizontal ausgezeichnet geschichteter Schlamm, der nur an der Oberfläche durch den Wind in kleine diagonal geschichtete Dünen verwandelt wird. Marine Faunen dringen mit der salzigen Flut oft weit in das Delta hinein, sterben hier rasch ab und bilden fossilreiche Zwischenschichten.

Das Litoral der ariden Zone ist dadurch ausgezeichnet, daß in der Regel die leblose Wüste mit ihren festländischen Gesteinen in scharfe Berührung mit dem normal gesalzenen Meer, mit Korallenriffen und formenreichen Faunen tritt, so daß bei jeder Oszillation eine Wechsellagerung mariner und nicht mariner Gesteine entsteht, zwischen denen keine Übergänge existieren.

Das Litoral der Pluvialzone ist heute durch einen breiten Saum der Mangroveflora ausgezeichnet, in deren Schutz der festländische Schlamm angehäuft und mit Pflanzenmoder, sowie Schwefelwasserstoffgasen und Kohlenwasserstoffgasen imprägniert wird. Es ist zweifelhaft, ob die Mangrove auch schon in früheren Perioden vorhanden war, aber vielleicht

haben ähnliche Pflanzengenossenschaften aus anderen Gruppen schon im Karbon eine wichtige Rolle gespielt.

Diese Fazieszonen und Lebensgürtel müssen seit der Devonzeit stets die Erde umgeben haben, insoweit an den betreffenden Stellen der Erdkugel Festland existierte. Wir müßten also in den Ablagerungen jeder folgenden geologischen Periode zwei sich polar gegenüberstehende Moränengebiete und dazwischen zwei durch chemische Niederschläge leichtlöslicher Stoffe ausgezeichnete Wüstenzonen beobachten, während die Spuren chemischer Verwitterungsdecken in den dazwischen liegenden humiden und pluvialen Gebieten erhalten sein müßten.

Aber die so gut untersuchten Schichtenfolgen der heute innerhalb der nivalen Zone Spitzbergens und Grönlands gelegenen, pflanzenreichen tertiären Ablagerungen enthalten keine Spuren ehemaliger Gletscher. Es muß daraus geschlossen werden, daß entweder damals das heutige Polargebiet unter dem Meeresspiegel lag, oder, wie die tertiären Kohlenlager beweisen, daß sich damals Grönland außerhalb des Polarkreises befand. Denn alle Hypothesen, die man aufgestellt hat, um das mildere Tertiärklima Grönlands auf anderem Wege zu erklären, lassen sich mit den klimatischen Indikatoren, die man gleichzeitig aus den Schichtenfolgen anderer Gebiete entnehmen kann, nicht korrelativ verknüpfen. Wir müssen immer bedenken, daß alle am Meeresboden entstehenden Sedimente „aklimatisch“ sind, und daß nur auf dem jeweilig trockenen Lande nivale Gletscher oder aride Wüstenerscheinungen vorkommen können.

Wenn wir die Ernährung und Fortpflanzung in den Vordergrund stellen, so sehen wir, daß die Lebensformen der Wasserwelt nur zum kleinsten Teil und nur in sehr abgeänderter Weise bei einer Besiedelung von Wasseratmern auf das Festland mit übernommen werden konnten.

Mit dem Augenblick, wo ein vorher unter Wasser gedeihendes Wesen über dem Wasserspiegel zu leben versucht, muß es zunächst auf den osmotischen Austausch mit den Nährsalzen und Gasen seines umgebenden Medium, durch Vermittlung der äußeren Haut, verzichten und besondere Aufnahmeorgane für Nährlösungen sowie für den notwendigen Sauerstoff erwerben. Während der Übergangszeit müssen gleichzeitig nebeneinander zwei grundverschiedene Formen der Nahrungsaufnahme wie der Atmung in Funktion sein. Alle solche Übergangsformen müssen also doppelatmende Dipneusta sein.

Bei den ältesten Landpflanzen mußten also schon unter dem Wasser Spaltöffnungen vorhanden sein, bevor sie über dem Wasserspiegel auftauchten, denn sonst hätten sie hier nicht weiterleben können; und bei den doppelatmenden Tieren mußten neben den Kiemen schon Lungen entwickelt sein, die vikarierend in Funktion treten konnten. Wir haben wiederholt darauf hingewiesen, daß Flüsse und Seen mit periodisch sehr

wechselndem Wasserstand die ältesten Wohngebiete der Dipneusta gewesen sein müssen, damit in langem Ringen um die neuen Lebensbedingungen eine festländische Flora und eine luftatmende Fauna neu auftreten und sich sieghaft verbreiten konnte.

Die devonische und unterkarbonische Flora zeigt uns aber daneben noch eine weitere wichtige Stufenfolge, indem die assimilierenden Zellgewebe zunächst nur als wasserleitende Röhren einer vergabelten Blattnervatur auftreten, dann die schmalen Blattsäume der ältesten „Farnblätter" bilden, später als die von parallelen Nerven durchzogenen „Grasblätter" erscheinen und sich erst zuletzt als breites ganzrandiges „Blatt" mit netzförmiger Nervatur entwickelten.

Von der allergrößten Bedeutung mußte aber die Umwandlung der einst assimilierenden Epidermis in eine den Wasserhaushalt der Pflanze schützende wasserundurchlässige Rinde werden, in Anpassung an den schädigenden Einfluß der trockenen Luft.

Endlich mußte das geologisch wichtigste Organ der Landpflanze entstehen, der elastische Wurzelschopf, mit dem sie sich in der Klastosphäre verankert und mit Hilfe dessen sie die Nährsalze aufsaugt, die sie vorher durch die Haut osmotisch aufgenommen hatte.

Der Turgor der Pflanze, der den schwersten Baum, der Schwerkraft entgegen, über den Erdboden hebt, der die wachsende Wurzel befähigt, Felsenspalten auseinanderzudrängen, der das Wasser aus der Grundwasserregion bis zur Blattkrone des stolzen Wipfels emporhebt, ist eine Anpassung an das Leben über dem Wasserspiegel.

Auch die Fortpflanzung und geographische Verbreitung mußten andere Wege einschlagen und hier liegt, ebenso wie in der Funktion der Wurzel, eine der merkwürdigsten Eigenschaften der Landflora. Denn die Samen der blattlosen und wurzellosen Wasserpflanzen wurden ebenso wie das tierische Meerplankton durch die Meeresströmungen nach allen Teilen des Weltmeers verfrachtet, wo keine thermische Klimagrenze hindernd in den Weg tritt. Ganz anders die Landflora, die in allen ihren Lebensfunktionen unbeweglich an ihren Standort angepaßt ist.

Eine Pflanze des nivalen Polargebietes wird sich zwar zirkumpolar verbreiten, aber jenseits der Polarzone nicht gedeihen, und eine Pflanze des tropischen Urwaldes kann nicht in die nahe aride Wüstenzone eindringen, ohne ihre Lebensweise und damit ihren Artcharakter zu ändern. So können die meisten Landpflanzen eigentlich nur auf Breitengraden wandern.

Man sollte nun glauben, daß wenigstens die festländischen Tiere sich unabhängig von den Klimazonen bewegen könnten — aber dem steht hindernd im Wege, daß sie in der Regel an eine bodenständige Pflanzennahrung angepaßt sind, mit der sie zu einer unlösbaren Synusie

verbunden erscheinen. Nur wenige Formen sind als heterotrophe Raubtiere unabhängig von dem Klima, das die Florenverbreitung bestimmt.

Es ist auffallend, daß fast alle festländischen Pflanzen bodenständig geblieben sind und daß keine Pflanzenfamilie das Luftreich besiedelt hat. Nur die Tierwelt des Festlandes bietet einige Gruppen, die ihr Lebensgebiet innerhalb der Atmosphäre gefunden haben: die karbonischen und neuzeitlichen Insekten unter den Arthropoden, die jurassischen Pterosaurier unter den Reptilien, die seit der Jurazeit entfalteten Vögel und die seit dem Tertiär bekannten Chiropteren. Ihre Anpassungserscheinungen an die freie Bewegung in der Atmosphäre sind vergleichend anatomisch ebenso genau untersucht, wie die Organe der rückläufig ins Meer hineingewanderten Wirbeltiere.

Wir halten die Fische für primitive Wasseratmer, und sehen in den Dipneusten die letzten noch heute lebenden Übergangsformen vom Wasser nach dem Land.

Ob freilich die ältesten Wirbeltiere Meeresbewohner waren, erscheint uns zweifelhaft, denn sie belebten die Lagunen zwischen den obersilurischen Riffkalken und mit ihnen finden wir neben den Eurypteriden die ältesten Skorpione, so daß man an eine ähnliche Lebensweise dieser verschiedenen „Artikulata" denken möchte.

Die weitere Entfaltung der wasseratmenden Wirbeltiere erfolgt einerseits im Weltmeer, in dem zunächst die Selachier dominieren und im Karbon als die ersten Raubtiere eine große Rolle spielen.

Dann treten die Ganoiden an ihre Stelle, bis in der Juraperiode die Knochenfische, mit ihrem für die Planktonnahrung so wunderbar angepaßten Kiemenkorb, eine neue Ordnung im Ozean einleiten.

Wiederholt haben sich von ihnen einzelne Gruppen abgezweigt, die in den Binnenseen der Festländer ein schützendes Asyl fanden. In Anpassung an die dort herrschenden Umstände des pluvialen oder ariden Kreislaufes nahmen sie sonderbare Formen an, deren Organisation aus ihrer eigenartigen Umwelt zu erklären, dem Paläontologen noch viele lohnende Aufgaben stellt.

Wir haben wiederholt geschildert, wie einige dieser Hydropneusta den großen Schritt vom Wasser auf das Land gewagt und auch erfolgreich durchgeführt haben.

Aber auch der umgekehrte Weg ist im Laufe der Erdgeschichte mehrfach eingeschlagen worden. Die Reptilien zeigen uns neben einigen Gruppen, die dauernd dem Festland treu blieben, auch mehrere Ordnungen, die aus wasser- und landlebenden Familien bestehen, und einige Formenkreise wie die Ichthyosaurier und Schildkröten, die zum größten Teil im Wasser leben.

Unter den Vögeln haben sich einige Familien ebenfalls ganz daran gewöhnt ihre Nahrung aus dem Meere zu gewinnen, und aus der Klasse

der Säugetiere sind die Delphine und Wale neben den Sirenen wegen ihrer rein marinen Lebensweise allbekannt.

Überblicken wir alle diese, aus der vielgestaltigen Welt der Luftatmer sich ableitenden Formenkreise in ihrem chronologischen Auftreten, so handelt es sich um biologische Grenzüberschreitungen des Mediums, die, von mehr oder weniger tiefgreifenden physiologischen Umgestaltungen begleitet, die Funktionen vieler Gewebe veränderten.

Aber die biologische Eigenart der Aeropneusta wurde dadurch nicht verändert, und ihr grundsätzlicher Gegensatz zu den noch heute unter Wasser atmenden und lebenden Hydropneusta bleibt trotz dieser scheinbaren Übergangsformen doch bestehen.

Literatur

v. Faber, C., Untersuchungen über die Physiologie der javanischen Solfataren-Pflanzen. 1925. Allg. Botanik, Bd. 118, S. 89. — Gothan, W., Die Frage der Klimadifferenzierung im Jura und in der Kreideformation im Lichte paläobotanischer Tatsachen. Jahrb. d. Preuß. Geolog. Landesanstalt 1908, Bd. XXIX, Teil II, Heft 2. — Gothan, W., Pflanzenleben der Vorzeit. Breslau 1926. — Handlirsch, A., Die Bedeutung der fossilen Insekten für die Geologie. Mitt. d. Geol. Ges. Wien III, 1910. — Handlirsch, A., Über fossile Insekten. I. Congres International d'entomologie Bruxelles 1911. — Jacobi, Arnold, Lage und Form biogeographischer Gebiete. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde. Berlin. Bd. XXXV, 1900, Nr. 3. — Keller, C., Die großen Wanderstraßen unserer Haustiere. „Aus der Natur" IV, 1908, Heft 12. — Kormos, Theodor, Beitr. zur Kenntnis der thermalen Melanopsis-Arten von Püspökfürdö bei Nagyvarad. Földtani Közlöny XXXIII. Bd, 1903. — Schlosser, Max, Über fossile Land- und Süßwassergastropoden aus Zentralasien und China. Ann. Musei nat. hungarici 1906. — Scott, H., L'évolution des Plantes. Scientia. Vol. XII, Année 1912, Bologna, N. XXV, 5. — Soergel, W., Die Säugetierfauna des altdiluvialen Tonlagers von Jockgrim in der Pfalz. Ztschr. der Geolog. Ges. Bd. 77, Jahrg. 1925, Abhandlung Nr. 3. — Sclater, L. P., The Geography of Mammals. London 1899. — Troll, Wilh., Die natürlichen Wälder im Gebiete des Isarvorlandgletschers. Der pflanzengeographische Typus einer nordalpinen Glaziallandschaft. Mitt. d. Geogr. Ges. München. Bd. XIX, 1926, Heft 1. — Wallace, R. A., Die geographische Verbreitung der Tiere. Übers. von A. B. Meyer. Dresden 1876.

63. Die Verbreitung der Landwelt

Die Faziesgrenzen ihres Lebensraums bestimmen die Verbreitung der Organismen. Aber innerhalb dieser Grenzen wird ihre Verteilung von einer Reihe anderer Umstände geregelt, die wir in topographische und klimatische trennen können. Beide Gruppen nehmen über dem Wasserspiegel andere Formen an, als unter demselben und wirken verschieden unterhalb des Meeresspiegels, wie auf dem Lande. Denn die Elementengrenze, auf welche wir alle Höhen- und Tiefenbestimmungen der Erdkugel beziehen, ist zugleich eine biologische Lebensgrenze und eine Scheidewand für die Wirkung der Sonnenstrahlen.

Nur das Klima des Festlandes ist polar orientiert, und wie die bionomischen Bedingungen des Lebens mit zunehmender Höhe wechseln, so ändern sie sich mit der Wassertiefe nach unten.

An der Schneegrenze der Polarländer, wie am Abhang hoher Gebirge. stellt sich bald eine obere Grenze des Lebens ein, während die Tiefen des Weltmeeres bis zum Grunde mit einem reichen Tierleben erfüllt sind. Die Lebensfülle des Meeres ist also unbegrenzt. Selbst wo das Bodenwasser des Meeres durch chemische Umstände lebensfeindlich wird, streut doch die Hochsee ihre planktonischen, nektonischen und nekroplanktonischen Reste aus, und so kann eine an sich unbelebte Halistase doch zum Grab einer wundervoll erhaltenen Fauna werden; während die Besiedelungsdichte trockenen Landes überall klimatisch differenziert wird und bis auf Null sinken kann.

Bezeichnend für das Festland ist aber auch, daß nur die Sonnenstrahlen die Verteilung seiner Lebewelt bestimmen und ihren Formenwechsel regeln.

Solange ein Festland unter denselben klimatischen Umständen bleibt, kann sich auch seine Lebewelt nicht wesentlich ändern. Es kann also eine oligozäne festländische Flora oder Fauna noch heute mit denselben Gattungen, vielleicht mit denselben Arten persistieren, weil ihr Lebensraum in dem gleichen Abstand von der Küste, in demselben Abstand vom Äquator, und in ähnlicher topographischer Höhe geblieben ist. Es ist nicht der geringste Grund vorhanden, der es verhinderte, daß eine untertertiäre Eucalyptus-Art noch heute in Australien lebt, oder daß eine Insektenart aus dem baltischen Bernsteinwald mit einem rezenten Bewohner des Koniferenwaldes übereinstimmt.

Wir sahen, daß zwar der chemische Stoffwechsel der Meerestiere in jeder Periode durch eine qualitativ einheitliche Zusammensetzung des Ozeanwassers einheitlich gestaltet und in verschiedenen Perioden immer wieder gleichförmig verändert werden mußte. Daher ändern sich alle marinen Arten in rascheren oder langsameren Schritten, und jede Periode der Erdgeschichte läßt sich an einer anderen Meeresfauna erkennen.

Allein dieser art-ändernde, chemische Einfluß der Umwelt fehlt auf dem Festland, dessen Bewohner viel unabhängiger von dem Medium, um so mehr durch das solare Klima beeinflußt werden.

Da jede aus dem Wasserspiegel auftauchende Landfläche zuerst als eine isolierte Insel erscheint, wird jedes Festland innerhalb derselben Breitengrade von einer übereinstimmenden Lebewelt bewohnt, aber mit wechselnder Breite treten andere Formenkreise auf. Wenn außerdem topographische Höhenzüge, den Breitengraden folgend, diese Gegensätze verschärfen, dann kann dasselbe Festland von grundverschiedenen Synusien belebt sein.

Alle diese Umstände werden aber erdgeschichtlich in eigenartiger Weise noch dadurch verändert, daß zu gewissen Zeiten die Sonnenstrahlung schwankt und allgemeine Änderungen der bionomischen Umwelt auf allen Festländern hervorgerufen werden. In solchen

Zeiten eines antinomen Klimas müssen pflanzen- und tiergeographische Umgestaltungen von großem Ausmaß eintreten, denen gegenüber alle Änderungen der geographischen Lage einzelner Lebensbezirke gering erscheinen.

Die alte Lehre A. G. WERNERS von einem, die ganze Erde umspannenden Weltmeere, an dessen Boden zunächst nur chemische Ablagerungen entstanden, bis mit dem Auftauchen trockenen Landes auch Trümmergesteine gebildet wurden, und die Entstehung einer Landwelt ermöglicht wurde, ist zwar grundsätzlich längst aufgegeben, aber sie spielt doch bei vielen wissenschaftlichen Erörterungen noch heute eine gewisse Rolle. Denn die Frage nach der Konstanz der Kontinente, den Ursachen biologischer Transgressionen und dem Schicksal der Landwelt wird vielfach verknüpft mit der unausgesprochenen Vorstellung eines universellen Urmeeres.

Wir wissen aber, daß es in der ältesten Periode der Erdgeschichte, ebenso wie heute schon, Festländer gegeben hat, daß viele, früher für marin gehaltene Gesteine auf großen Trockengebieten entstanden sein müssen und daß wahrscheinlich die Urzeit der Erdgeschichte noch viel größere Festlandsgebiete zeigte, als die Gegenwart. Daß diese alten Länder den Charakter großer Urwüsten besaßen, läßt sich aus ihren Gesteinen leicht ableiten.

Die Vorstellung, daß sich erst in einer späteren Periode die festländischen Klimazonen „herausgebildet“ hätten, die man so oft bei erdgeschichtlichen Darstellungen findet, ist gänzlich haltlos. Denn sie würde bedeuten, daß unsere Erde zuerst, wie die Griechen und Römer glaubten, eine Scheibe gewesen wäre, und erst später sich zu einer Kugelfläche gebogen hätte.

Solange unser Planet eine Kugel war und solange er unter den sich bekämpfenden thermischen Einflüssen der Sonnenstrahlung und der Kälte des interplanetarischen Raumes stand, so lange bildeten die Klimazonen nahezu parallele Gürtel um die Erde. Jedes neu aus dem Meere auftauchende größere Festland kam sofort unter die bionomischen Umstände des dort herrschenden atmosphärischen Klimas und konnte nur von einem älteren Festland mit ähnlichem Klima besiedelt werden.

Man hat zwar den fossilen Festländern Namen gegeben, und viele erdgeschichtliche Karten suchen ihre Lage und Grenzen darzustellen. Aber wenn wir die darüber vorhandene große Literatur mustern, so fällt uns auf, daß man diese Festländer so darstellt, wie man einst die unerforschten Flächen Afrikas oder Innerasiens zeichnete — als weiße Lücken ohne Signatur. Das amphibische Litoralgebiet solcher „Länder“ wird zum offenen Meer gerechnet, binnenländische Senken werden durch phantastische „Mars“-Kanäle mit dem nächsten Meeresbecken verbunden, und weder die alten Gebirge, noch die sumpfigen Ebenen, weder die Vulkane,

noch die Küstenlinien dieser viel genannten „Kontinente" gewinnen bei solchen paläogeographischen Darstellungen faßbare Gestalt. So kann es uns auch nicht wundern, wenn die darauf lebende Flora und Fauna ohne Beziehungen zu ihrer topographisch oder klimatisch bedingten Umwelt beschrieben und die Synusien ganz verschiedener Standorte in stratigraphisch geordneten Tabellen zusammengezogen werden, unter völliger Vernachlässigung der bei jeder pflanzen- oder tiergeographischen Untersuchung der Gegenwart allgemein beachteten Regeln.

Wir haben in früheren Abschnitten dieses Buches wiederholt die Grundsätze erläutert, die bei jeder solchen Arbeit, die wissenschaftlicher Kritik standhalten soll, berücksichtigt werden müssen.

Wenn es gilt, die Grenzen einer hypothetischen Ländermasse zu bestimmen, so müssen folgende Forderungen erfüllt sein:

1. In seinem Ufergebiet müssen marine, fossilreiche Schichten auftreten, aber in seinem Innern fehlen.

2. Dort müssen wir gleichaltrige Ablagerungen ohne Meerestiere, aber mit den Überresten von Landpflanzen, Landtieren sowie den lithologischen Symptomen des Festlandes finden.

3. Da Meeresstraßen kein Hindernis für die Verbreitung von Landpflanzen sind, werden wir auf die Verbreitung großer Landtiere besonders zu achten haben, wenn wir alte Landzusammenhänge feststellen wollen. Dagegen besitzen Pflanzen einen geringeren Wert für die Bestimmung der Grenzen alter Landflächen, da sie auch über schmale Meeresarme hinweg verbreitet werden können. Die Verbreitung der Flora aber wird uns in den Stand setzen, klimatische Übereinstimmung oder Gegensätze nachzuweisen.

4. Die größte Bedeutung aber gewinnen die alten Verwitterungsdecken und die aus ihnen entstandenen, klimatisch bedingten Böden der festländischen und marinen Räume, die als „Gesteine" dem Geologen so wohl bekannt sind. Sie allein ermöglichen uns die Lage der Pole und des Äquators zu erkennen und damit alle anderen bionomischen Umstände der Organismenwelt in ein sicheres System klimatischer Gürtel einzuordnen.

5. Die wichtigste Rolle werden hierbei einerseits die Moränen der nivalen Zone, anderseits die Trümmergesteine und Niederschläge des ariden Wüstengürtels spielen.

Aber alle diese Daten lassen sich nur gewinnen, solange und soweit ein Stück Erdrinde über dem Meeresspiegel liegt, und so greifen die Transgressionen und Regressionen des Ozeans als entscheidende Faktoren in die biologischen Schicksale jedes Festlandes ein.

In jedem größeren Schichtenprofil sehen wir in den sich überlagernden Felsarten, daß an einem bestimmten Ort der Erdrinde beständig andere Floren und Faunen nacheinander lebten. Dieser Standortswechsel

beherrscht die ganze Erdgeschichte im Kleinen und im Großen und es ist besonders interessant, daß der Faunenwechsel in der Regel mit einer Veränderung des Gesteins zusammenfällt und also im Grunde genommen auf einem Fazieswechsel beruht. Die an einer bestimmten Stelle gebildeten Ablagerungen und Gesteine sind aber der Ausdruck für die daselbst herrschenden klimatischen, biologischen und lithologischen Umstände. Jeder Fazieswechsel bedeutet eine Änderung in der Umwelt und so können wir den Ortswechsel der Lebewelt als die Wirkung geographischer und geologischer Veränderungen der äußeren Lebensbedingungen betrachten.

v. Moisisovics hat eine größere Schichtenfolge desselben Gesteins als isopisch und den Wechsel verschiedener Gesteine als heteropisch bezeichnet und zuerst betont, daß man die Entwicklung einer bestimmten Fauna nur innerhalb einer isopischen Schichtenfolge verfolgen dürfe.

Aber gerade die isopischen Schichtenfolgen machen dem gliedernden Stratigraphen die größten Schwierigkeiten und haben immer wieder Anlaß zur Aufstellung besonderer Grenznamen (Herzyn, Permokarbon, Rhät, Tithon) gegeben, weil hier die Sicherheit der biostratigraphischen Analyse versagte.

Nur wenn wir jede fossile Synusie im Rahmen ihrer Gesteinsfolge betrachten und wirklich „biologisch" denken, kommen wir über diese Schwierigkeiten hinüber.

Jede Faunengenossenschaft ist bestrebt, sich biologisch und systematisch auf die in ihrem Lebensbezirk herrschenden klimatischen und bionomischen Umstände einzustellen. Sie wird nach einiger Zeit alle günstigen Standorte besiedelt, die vorhandenen Nahrungsquellen ausgenutzt und einen geschlossenen Faunenverband hergestellt haben.

Sicher ist es aber auch, daß eine klimatisch umgrenzte Flora oder Fauna, wenn sie längere Zeit isoliert lebt, spezifische Eigenschaften entwickeln wird, die sie allmählich immer schärfer von anderen Lebensgenossenschaften unterscheidet. Wenn dann die trennenden Schranken fallen, sind Kreuzungen und damit die Bildung neuer Formenkreise sehr wahrscheinlich.

Obwohl alle freibeweglichen Landtiere theoretisch eigentlich ganz beliebige aktive Wanderungen nach jedem anderen Lebensbezirke unternehmen könnten, so lehrt uns doch die Verbreitung der heutigen Tierwelt, daß selbst die leichtfüßigen Steppentiere von der Verbreitung bestimmter Pflanzen abhängig sind, und daß auch die afrikanischen Großtiere scharf umgrenzte Gebiete besiedeln, deren Grenzen sie nicht überschreiten, weil die ihnen zusagende Nahrung dort fehlt.

So ist also selbst das aktiv beweglichste Tier in seiner Verbreitung abhängig von den nur passiv beweglichen Pflanzen und wird seinen Wohnsitz nur dann ändern, wenn seine Futterplätze sich verlagern.

Die Verbreitung des marinen Plankton erfolgt, wie wir sahen, wesentlich durch die Meeresströmungen; dagegen wird die Ausdehnung der festländischen Flora durch den Wind bestimmt. Die Bewegungen der Atmosphäre und der Hydrosphäre werden aber nun in ganz gesetzmäßiger Weise von der Erdrotation beeinflußt, so daß auf der nördlichen Halbkugel vorwiegend SW-, auf der südlichen Halbkugel NW-Winde herrschen.

Wohl gibt es örtliche und zeitliche Abweichungen von dieser Regel, aber wenn man die maßgebenden und kräftigsten Zugstraßen der Winde und der Meeresströmungen ins Auge faßt, dann haben sie meist, der Erdrotation entsprechend, eine west-östliche Richtung. Winde und Meeresströmungen spielen aber bei der Verteilung der Pflanzensamen eine maßgebende Rolle, und da ihre W-O gerichtete Tendenz durch die Rotation der Erdkugel stets in derselben Richtung ausgelöst war, so läßt sich unter Berücksichtigung mancher Ausnahmen sagen: Die Biosphäre wird in eine W-O gerichtete Bewegung versetzt, und diese Richtung muß zu allen Zeiten bei den passiven Wanderungen der Pflanzen und Tiere eine gewisse Rolle gespielt haben.

Es ist, als ob die Biosphäre um die Lithosphäre rotierte, und als ob selbst die standfestesten und größten Tiere mit in diese Bewegung hineingezogen werden könnten.

Nicht alle festländischen Synusien sind auf großen geschlossenen Flächen verbreitet, vielmehr sehen wir in der Gegenwart wie in der Vergangenheit immer wieder von den tier- oder pflanzengeographischen Reichen abgetrennte biologische Oasen oder Inseln. Solche können gelegentlich eine viel reichere Fauna enthalten, als die weiten Flächen, auf denen die Lebewelt ruhelos umherschweift.

Während im Allgemeinen die Möglichkeit, daß organische Reste der Luftatmer in den Trümmerbänken, Sanddünen und Salzpfannen der Wüste, oder in den Moränen der nivalen Region eingeschlossen, erhalten bleiben konnten, überaus gering ist, erzählen uns solche lokal umgrenzte Oasen von den vergänglichen Pflanzen und den Wandertieren, die auch in der ödesten Wüste gelegentlich auftreten.

Das Bergland der Vogesen und des Frankenwaldes muß schon in der Triaszeit eine reichere Flora als die umgebenden weiten Sandfelder gehabt haben, denn hier finden wir nicht allein zahlreiche Abdrücke von Equiseten und Nadelhölzern, sondern auch die mit Sand überschütteten Reste von Landtieren. Auch bei Bernburg war eine von Pleuromeia gebildete Oase. Die Chirotherien unternahmen von diesen Oasen weite Wanderungen in die Sandebenen, wahrscheinlich als eine Regenperiode darin überall junges Grün aufleben ließ. Ihre Fährten sind die einzigen Reste dieser Zeit, während bei Bernburg die Schädel von Trematosaurus und Capitosaurus, losgelöst von ihrem Skelett, herumlagen.

Als Oasen der Keuperwüste müssen wir die bekannten Fundorte von Reptilien im Stubensandstein von Schwaben und bei Halberstadt auffassen.

Im Tertiär von Süddeutschland sind mehrere Oasen durch ihren Fossilreichtum seit langem berühmt. Im Ries bei Nördlingen waren in einem schilfbewachsenen Sumpfe Brutplätze von Pelikan, Storch, Reiher, Gans, Enten und kleinen Singvögeln, deren Knochen, Eischalen und Gewölle trefflich erhalten sind. Eine andere dieser Oasen, das Becken von Steinheim, war durch eine kalkhaltige Therme erfüllt, welche Kalksinter ablagerte. Im Wasser lebten Barben, Hechte, Weißfische, Frösche, Schildkröten und Fischottern; im dichten Schilf hatten Ibise, Pelikane und Gänse ihre Brutstellen. Von weither eilten im Sommer die Bewohner der umliegenden Steppen zur Tränke; wenn aber die kalten Stürme des Winters einsetzten, dann bot ihnen das warme Wasser einen willkommenen Badeplatz. Rudel zierlicher Zwerghirsche, größere geweihlose Hirsche, dreizehige Urpferde, Wasserschweine, Nashörner und Mastodonten kamen herbei; ihnen lauerten im Dickicht der bärenartige Amphicyon auf, sowie der tigerartige Machairodus mit seinem Säbelzahn.

Neben diesen in wundervollen Skeletten gefundenen größeren Tieren hat uns das Becken von Steinheim Millionen kleiner Schneckenschalen aufbewahrt, die als Carinifex multiformis beschrieben, die liegenden Gesteine mit flachscheibenförmigen Varietäten, die hangenden Schichten mit turmförmig gewundenen Gehäusen erfüllt, zwischen denen ganz allmähliche Übergänge eine Artumwandlung deutlich vor Augen führen, die lange als ein Schulbeispiel für die Umänderung einer Art in die andere galt. Auch Gillia utriculosa und Limaeus socialis. Sie variieren hier, obwohl sie an anderen Fundorten Schwabens stabile Artcharaktere besitzen. Da in den Thermen bei Püspökfürdö eine Melanopsis Parreyri lebt, deren Schale unter ganz verschiedenen Artnamen beschrieben worden war, zwischen denen ebenfalls wechselnde Varietätenreihen auftreten, betrachten wir auch die Fauna von Steinheim als eine biologische Oase, bedingt durch besondere örtlich verbreitete Umstände.

Wir haben schon bei der Schilderung der Transgressionen darauf hingewiesen, daß alle größeren und kleineren Veränderungen der Grenzen des Weltmeers mit der Bildung von Inseln und Archipelen verknüpft sind.

Aber auch jede topographische Senkung oder Hebung erzeugt biologische Sondergebiete, deren Lebewelt sich von der ihrer Umgebung unterscheidet.

So müssen bei allen Polverlagerungen, allen Transgressionen und Regressionen, allen Faltungen und Senkungen der Erdrinde, kleine und große Wanderungen der dort lebenden Formen auftreten und hierbei werden geschlossene Synusien vorübergehend in kleinere Bestände auf-

gelöst, die durch ihre systematische Eigenart aus den Normen stratigraphischer Verbreitung herausfallen.

Wenn ein ganzer Lebensbezirk wandert, dann wird es häufig vorkommen, daß eine Anzahl von Arten als Relikten zurückbleiben, die sich den neuen Verhältnissen anzupassen vermochten und dann sehr individuenreich werden, weil die Konkurrenten, die ihrer Vermehrung bisher im Wege standen, ausgewandert sind. Eine Reliktenfauna wird also eine artenärmere Auslese aus der im liegenden Gestein auftretenden Fauna darstellen.

Auch die ersten Pioniere, die einer tiergeographischen Wanderung vorausgehen, werden nur aus wenigen Arten bestehen, die sich erst allmählich ergänzen und vervollständigen. Deshalb wird man auch eine neuentstehende Tierkolonie artenärmer finden, als die Fauna, aus der sie herstammt.

Auf dem Festland werden Faltengebirge, die auf Breitengraden entstehen, eine stärkere isolierende Wirkung haben, während meridionale Gebirgsketten eher geeignet sind, Wanderwege zwischen verschiedenen Faunengebieten zu öffnen.

Wir sehen in der Geschichte des Reptilienstammes in Nordamerika solche Vorgänge gut ausgeprägt:

Der Norden Europas und Amerikas enthält große Stücke eines arktischen Festlandes, dessen Schicksale lange Perioden hindurch übereinstimmten. Die Polarzone umzog ursprünglich ein gebirgiges Kontinentalgebiet, das dann, durch Abtragung erniedrigt, sich immer mehr nach Süden verbreiterte. Dann aber wurden die geologischen Schicksale der beiden jetzt durch den Atlantik gesonderten Länder ganz verschieden:

Europa wurde in der langen Zeit vom Kambrium bis zum Tertiär immer wieder vom Weltmeer, bald von Norden, bald von Osten oder Süden transgredierend, überflutet Das eben gebildete Festland wurde zerrißen und in einzelne Stücke zerlegt, die dann wieder in neuer Gruppierung zusammentraten. Diese mannigfaltigen geologischen Veränderungen bedingen die reiche Gliederung des Kontinents, die bunte Zusammensetzung seiner geologischen Karte, und sie machen es auch verständlich, warum es in Europa während der Mittelzeit zu keiner stetigen Entwicklung der festländischen Flora und Fauna kam. Denn die neu entstandenen Faunen und Floren wurden bei den Transgressionen des Meeres vernichtet oder auf kleinen Räumen isoliert, und die neu gebildeten Landflächen bald vom Süden, bald vom Norden und Westen aus besiedelt.

In Nordamerika verlief das Wachstum des Kontinents wesentlich einheitlicher. Schon im Kambrium beobachten wir, wie sich die Küstenlinie nach Südosten vorschiebt. Im Silur und Devon geht dieser Vorgang weiter, und schon im Karbon ist der ganze Westen der Vereinigten Staaten ein reich besiedeltes Festland, dessen nördliche Fläche vom Meer

niemals wieder erobert wurde. Wohl überspülte es die Ränder des jetzigen Küstengebietes und bedeckte weite Flächen des Westens; auch drang es zur Kreideperiode tief in die Missisippibucht hinein, aber das dazwischen aufragende Ländergebiet wuchs ohne marine Unterbrechung beständig weiter. So wurde es eine dauernde Heimat für die Entfaltung des Reptilienstammes, der mit seinen Zweigen das Festland ebenso wie das Meer der Mittelzeit beherrschte und sogar erobernd in die Lüfte eindrang. Die eigenartige Fauna der Stegocephalen bewohnte zur karbonischen Zeit auch Nordamerika. Genau wie in Europa, Ostindien, Südafrika und Südamerika zeigten uns auch hier die ältesten, landbewohnenden Wirbeltiere ein wunderbares Gemisch von Charakteren, die jetzt nur den Amphibien, den Reptilien oder den Säugetieren eigen sind. Die Stegocephalen im weiteren Sinne, d. h. mit den Formen vereint, welche zu den Reptilien oder Säugetieren hinüberleiten, entsprechen dem Begriff eines Kollektivtypus in ausgezeichneter Weise. Sogar in den kleinen Einzelheiten des Knochenbaues treten hier noch Charaktere gemeinsam auf, die jetzt auf verschiedene Formenkreise verteilt sind. So zeigt der Schädel des im amerikanischen Perm beobachteten Labidosaurus von der Schädeldecke aus betrachtet, nach Broili den Knochenbau des bei den Stegocephalen ausgeprägten Amphibientypus, aber von der Gaumenseite sieht man Reptiliencharaktere. Andererseits treffen wir bei einigen gleichzeitig lebenden Gattungen so ausgeprägte Säugetiermerkmale, daß man in solchen Formen einen Übergang zu dieser Gruppe erblickt hat.

Es war für die fernere Entwicklung des nordamerikanischen Festlandes von der größten Bedeutung, daß in seiner Osthälfte, von Nordosten nach Südwesten langsam vorwärtsschreitend, ein großes Kettengebirge entstand, das immer höher und breiter werdend, langsam aus der Ebene emporwuchs. Schon im oberen Silur finden wir Konglomerate, welche für eine ältere Dislokation sprechen. Bei Beginn der Karbonzeit waren in Maine und Neu-Schottland Gebirgsfalten entstanden; denn hier liegt das Karbon diskordant auf gefaltetem Devon. Aber erst am Schluß der Karbonperiode setzte der Gebirgsbildungsprozeß mächtiger ein, und die Ketten der Appalachen stiegen immer höher aus der Ebene empor.

Wie in Europa siedelten sich an den Abhängen dieser Gebirge zahlreiche Pflanzengeschlechter an, die ganz mit europäischen Arten übereinstimmen. Kohlenlager entstanden, und eine reiche Tierwelt lebte in den oft vom Meere überfluteten Küstensümpfen. Die geschlossene große Landfläche mag die Entwicklung der Flora sehr begünstigt haben.

In dem Maße, als die regensammelnden Gebirge abgetragen und erniedrigt wurden, gewann, genau wie in Europa, ein trockenes Wüstenklima die Oberhand, und es bildeten sich in zahlreichen, isolierten Becken mächtige Ablagerungen roter, gipsführender Tone und bunter Sandsteine,

deren Zugehörigkeit zum permischen oder triadischen Zeitraum vielfach diskutiert worden ist.

In diesen nur selten vom Meere überschwemmten Wüstengebieten entwickelte sich nun aus den amphibischen Stammformen der Stegocephalen eine Gruppe von kleinen und großen Reptilien, die man mit der Gruppe der Theromorphen vereint hat. Allein trotz des ähnlichen Grundtypus und der äußeren Anpassung an ähnliche klimatische Verhältnisse ist der amerikanische Formenkreis von dem südafrikanischen grundverschieden. Man kennt 24 Gattungen mit etwa 50 Arten, die auf Nordamerika beschränkt sind und neben einfachen Gattungen, wie Varanosaurus, die in ihrer Körperform und ihrem Bau sich nur wenig von den Urreptilien (Proterosaurus) unterscheiden, begegnen uns schon sehr abweichende, seltsam gestaltete Formen. So hatte der etwa 1 m lange Naosaurus einen halbkugeligen Schädel, besetzt mit langen, spitzen Dolchzähnen. Die Dornfortsätze seiner Rückenwirbel verlängerten sich in 25 cm lange runde Knochenstäbe, die, mit 6 Paar Querdornen besetzt, eiuen zackigen Rückenkamm stützten.

Dimetrodon hatte ebenso lange Dornfortsätze, doch ohne Querdornen, daneben finden sich mehrere Arten von Clepsydrops, dessen Körper verhältnismäßig einfach gebaut ist.

Wenn wir die Verteilung der permischen Gipslager von Kansas betrachten, so sehen wir dieselben allmählich nach Süden vorrücken und hier auch mächtiger werden, so daß man wohl daraus schließen darf, daß sich das Wüstenland schrittweise nach Süden ausdehnte.

Zur Triaszeit bildeten sich in Nevada wie in den östlichen Staaten bunte, fossilarme Sandsteine, die mehrfach in einer Mächtigkeit von 1000 m durchbohrt worden sind. Sie füllen weite, trogartige Vertiefungen zwischen den Faltenzügen der Appalachen, und hier lassen sich zehn solcher Sandsteingebiete von wechselnder Größe unterscheiden. An den Rändern der Ablagerungen finden sich mächtige Konglomerate mit metergroßen Blöcken; schrittweise verwandeln sie sich in rote Sandsteine, die oft reich an unzersetztem Feldspat sind. In den liegenden Schichten findet man in Richmond mehrere schwache Kohlenflöze, die nach ihren Bildungsumständen den europäischen Permkohlen entsprechen mögen. Dann bauen sich aber darüber mächtige rote Sandsteinbänke auf mit tonigen Zwischenschichten, diagonaler Dünenschichtung, Trockenrissen und Fährten, genau wie in den entsprechenden Triassandsteinen von Europa. Die spärlichen Pflanzenreste zeigen keine einzige karbonische Form. Zykadeen und Nadelhölzer bestanden mit Farnen und Schachtelhalmen die Ufer der Flüsse und Binnenseen. Manche Seen müssen salzig gewesen sein, wie aus den zahlreichen Schälchen von Estheria hervorgeht. Andere enthielten süßes Wasser, und auf dem feinen Tonschlamm erkennt man jetzt noch die Fußeindrücke von Insekten und Insektenlarven, die

nach ihrer Form 30 verschiedene Arten unterscheiden lassen. Schmelzschuppige Fische und große Molche mögen von ihnen gelebt haben.

Wenn Isolierung auf eng umschriebene Lebensbezirke zur Ausbildung eigenartiger und seltsamer Tierformen Anlaß gibt, so waren in dem von langen Gebirgsketten durchzogenen Wüstenland alle Bedingungen hierfür vorhanden. Zwischen der eben vom Meere verlassenen, salzgetränkten östlichen Niederung und der westlichen, mit großen Seen bedeckten Ebene zog sich, von Nordosten nach Südwesten verflachend, durch zehn Breitengrade ein breites System von Felsenketten. Lange Talrinnen waren nur an wenigen Stellen durch enge Pässe verbunden. Wie heute von den Abhängen des Hindukuschgebirges große sand- und schlammreiche Flüsse herabstürzen, um in den gelben Sandwüsten Transkaspiens zu versiegen oder in flachen, abflußlosen Binnenseen zu enden, so stand auch jenes Gebiet unter dem Einfluß rasch wechselnder Niederschläge.

Jedes der großen, trogähnlichen Längstäler führte sein eigenes Leben. Auf tonigem Boden sproßte im Frühjahr leicht eine üppige Oasenflora, die unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen bald wieder verdorrte. Wandernde Dünen schritten vom Fuß der Berge oder dem Überschwemmungsgebiet der Flüsse weit auf die Ebenen hinaus und trennten die reich belebten Oasen wie eine Mauer. So entstanden aus primitiven Urformen, die in der niederschlagreichen Steinkohlenzeit das ganze Land besiedelt hatten, lokale Bildungsherde für eine seltsame Tierwelt, welche entweder als schnelle Räuber weite Strecken zu durcheilen vermochten, oder als stumpfsinnige Pfanzenfresser in trägem Halbschlaf ihr Leben verbrachten.

Die geographischen Folgen der im vorigen Abschnitt als Transgressionen zusammengefaßten geologischen Vorgänge bestehen in einer Überflutung festländischen Gebietes. Der Lebensraum der auf einem solchen angesiedelten Pflanzen und Tiere wird verkleinert und es muß nicht nur eine absolute Verminderung seiner Bevölkerung eintreten, sondern diese wird auch in ihrer systematischen Zusammensetzung verändert.

Diese Wirkungen müssen aber andere sein, wenn eine flache von horizontalen Alluvionen bedeckte Niederung überflutet wird, als wenn ein Faltenland oder ein Vulkangebiet den Wirkungen der Abrasion verfällt. Der Geologe, der solche Vorgänge in seinen Profilen vor Augen hat und in allen ihren Einzelheiten verfolgen kann, wird die Klippenwelt der varistischen Faltenzüge im Streichen der Zechsteinriffe wiederfinden und die konkordante Auflagerung des marinen Lias auf dem festländischen Oberkeuper mit ihren langsam verschwindenden Pflanzen und vereinzelt neuauftretenden Meerestieren genetisch zu deuten wissen.

Im allgemeinen verlaufen solche Transgressionen, wie wir zeigten, nicht schrittweise oder allmählich, sondern der Mediumwechsel findet

regional statt. Wir dürfen daher eine allgemeine Senkung als die Ursache der meisten Transgressionen ansehen. Wir konnten auch zeigen, daß hierbei nicht stets ein plötzliches sintflutartiges Hereinstürzen des Meeres erfolgt, sondern daß zunächst durch die Senkung des Landes überall übertiefe Flächen entstehen, die sich in jedem regenreicheren Klima sofort in Grundwasserseen verwandeln. Die vorhandenen Pflanzengenossenschaften besiedeln diese Moräste und Sumpfgebiete, in die das Salzwasser langsam eindringt und das Süßwasser verdrängt. Nach dem Absterben der letzten Sumpfgewächse wird die ganze Fläche durch Ansiedlung von marinen Tieren zum Meeresboden. Da jedes Meer seine autotrophe Flora als Plankton mit sich führt, der sich in dem zunächst noch flachen Wasser leicht vermehrt, steht dem weiteren Gedeihen der Meeresfauna kein Hindernis im Wege.

Ungemein mannigfaltig sind die Vorgänge, durch welche ein neuentstehendes Festland mit luftatmenden Pflanzen und Tieren besiedelt wird.

Die Beispiele, wo der Mensch in ein neu entdecktes Land europäische Pflanzen oder Tiere einführte, sind oft behandelt worden; seltener erfolgten solche Neubesiedlungen ohne Zutun des Menschen.

Das am genauesten untersuchte Beispiel ist die Insel Krakatau, die Verbeck im Jahre 1880 noch mit dichtem Urwald bedeckt sah. Am 20. Mai 1883 öffnete sich ein Krater, aus dem solche Mengen von Bimsstein hervorgeworfen wurden, daß ein großer Teil der Insel 1 m hoch damit bedeckt wurde, zwischen denen vereinzelte entrindete Stämme aufragten. Endlich erfolgte am 26. August die gewaltige Explosion, welche die ganze Insel und ihre Umgebung mit glühenden Steinen und Asche überschüttete. Die Asche wurde 1700 km nach Süden getragen und ihre feinsten Teilchen schwebten monatelang in den Höhen der Atmosphäre. Die Gesamtmenge der ausgeworfenen Masse schätzt Verbeck auf 18 kkm. Mehrere Inseln waren unter einer Aschendecke begraben, die alles Leben vernichtete.

1886 fand Treub eine neuentstandene Vegetation vom Küstenrand bis zu den höchsten Gipfeln. Vom Winde herbeigetragen, hatten sich überall blaugrüne Algen angesiedelt, in deren gallertartigem Schleim Bakterien wucherten. Der Wind hatte die Samen von zwei Gräsern und vier Kompositen herbeigetragen, und dazwischen die Sporen von Leber- und Laubmoosen, sowie von Farnen angesiedelt.

Die weitere Einwanderung wurde 1897 durch Treub und Penzig verfolgt, die jetzt 50 Phanerogamen und 12 Gefäßkryptogamen verbreitet fanden und am Strand außerdem die Samen und Früchte von weiteren 26 Blütenpflanzen sammelten. Auch hatten sich schon die ersten Synusien gebildet, indem am Strand die Pescaprae-Formation und im Innern eine Grassteppe verbreitet war.

Im Jahre 1906 setzte A. Ernst diese Untersuchungen weiter. In den vergangenen zehn Jahren hatte sich die Flora auf 72 Dictyledonen, 29 Monocotyledonen, 1 Cycadee, 15 Farne, 10 Moose und 16 Spaltpilze vermehrt, und schon bildeten sich deutlich geschlossene Pflanzenformationen aus.

Die Lebensbedingungen waren hier allerdings überaus günstig, denn die vulkanische Asche enthielt alle notwendigen Nährsalze, außerdem wurde überall feinster Staub vom Wind herbeigetragen, in dem sich leicht die Bakterien entwickeln konnten (etwa 2200000 im Gramm Boden), die den verschiedensten biologischen Gruppen angehörten. Neben gewöhnlichen Bodenbakterien waren Fäulnisbakterien, Erreger der Zellulose — Pektinstoff — Stärkegärung und der Harnstoffäulnis verbreitet. Schimmelpilze waren häufig, aber Hefepilze konnten nicht gefunden werden. Besonders wichtig für die Ernährung der Gefäßpflanzen waren die Nitrit- und Nitratbakterien und die stickstoffbindenden Arten.

Man kann etwa 16 bis 32% der neuen Flora auf den Wind, 40 bis 70% auf Meeresströmungen, 4% auf Transport durch Vögel zurückführen, und darf annehmen, daß die Insel nach 60 Jahren wieder ebenso dicht mit hohem Urwald bewachsen sein wird, wie vor der Eruption.

Der Fall, daß eine isolierte Vulkaninsel neu besiedelt worden ist, mag in der Erdgeschichte nicht so oft vorgekommen sein, wie das Auftauchen eines ganzen Archipels aus dem Meere.

Der Boden eines Wasserbeckens ist niemals so horizontal, daß er nicht durch flache Untiefen gegliedert wäre, deren Oberfläche dem Meeresspiegel näher liegt, als ihre Umgebung. Bei jeder „Regression" müssen diese als Inseln aus dem Wasser auftauchen.

So wird also am Schluß einer längeren Meeresperiode, wenn das Wasserbecken allmählich mit Sediment erfüllt worden ist, eine Inselwelt entstehen, die nur auf die Neubesiedelung durch luftatmende Pflanzen wartet. Es ist selbstverständlich, daß deren Einwanderung nur von einem klimatisch ähnlichen Lebensbezirk aus erfolgen kann. Man wird daher erwarten dürfen, daß sich die Flora auf Breitengraden verbreitet.

Unabhängiger von dem Klima sind die festländischen Tiere, die sich überall da einfinden und wohlfühlen, wo sie eine ihnen zusagende Nahrung finden.

Für die weiteren Schicksale eines solchen Archipels und seine Verwandlung in ein geschlossenes Festland gelten dieselben Grundsätze. Auch der Einfluß trennender Gebirge ist verschieden, je nach der Orientierung ihrer Kämme. Denn ein meridional streichendes Faltengebirge wird die Tierwelt viel weniger trennen, als eine auf Breitengraden sich erstreckende Gebirgsmauer.

Für die Besiedlung eines Kontinents von älteren Festländern aus spielen die Wanderbrücken eine große Rolle. Besonders größere Land-

tiere, wie die Dinosaurier der Mittelzeit oder die Elephantiden der späteren Tertiärzeit können sich nur auf größeren Landbrücken verbreiten. Auch das Erscheinen der Iguonodonten in der europäischen Kreide oder von Mastodon und Hippopotamus in Europa sind als lehrhafte Beispiele verwendet worden.

Solange das phyletische Eigenleben der verschiedenen Kontinente der Vorzeit nicht sorgfältig untersucht worden ist, lassen sich auch die Wanderwege der älteren luftatmenden Floren und Faunen nicht feststellen.

Die Wanderungen der tertiären Säugetiere sind hauptsächlich über die Behringsbrücke erfolgt, die heute von etwa 50 m Wasser bedeckt, sehr leicht durch eine Regression des Meeres trocken gelegt werden konnte.

Für die Besiedelung Australiens kam hauptsächlich die Sundabrücke in Frage, während die mittelamerikanische Antillenbrücke den Austausch südlicher und nordischer Faunen erleichterte.

Aber auch innerhalb größerer Festländer sehen wir in dem beständig schwankenden hydrographischen System der Flußläufe ein wichtiges Mittel für die Verlagerung der Standorte von Pflanzen und Tieren. Denn die Wasserscheiden haben eine ebenso wechselvolle Geschichte, wie die Richtung und Mündungsgebiete der Flußläufe. Wenn wir endlich erwägen, wie leicht ein Flußsystem durch eine geringe Klimaänderung abflußlos werden kann, und wie leicht flache Wasserscheiden zu höheren Gebirgen emporgehoben oder durch Abtragung völlig vertilgt werden, dann werden wir die systematische Zusammensetzung festländischer Synusien nicht mehr wie marine Faunenlisten zahlengemäß vergleichen, sondern die Eigenart des Reiches der Luftatmer in ihrer Abhängigkeit von Klima, Wasser und Standort verstehen lernen.

Innerhalb eines großen Landes spielen für die Verbreitung der Pflanzensamen neben dem Wind und den Wandertieren die Flußläufe eine besonders wichtige Rolle. Aber nur wenige Beispiele der festländischen Verbreitung sind so genau verfolgt worden, wie die Wanderungen der amerikanischen Opuntia in Australien.

Im Jahre 1788 importierte Kapitän Phillip Pflanzen und Samen von Opuntia monacantha aus Rio Janeiro, um die auf ihnen lebenden Cochenillen zu züchten; 1840 wurde die asiatische Art O. indicus in Queensland eingeführt und im Jahre 1858 nach den Gebieten im N. von Brisbane gebracht.

Überall, wo vom Dezember bis Mai Sommerregen fallen, besteht die Möglichkeit weiterer Verbreitung dieser, allmählich alle anderen Gewächse übertrumpfenden Einwanderer.

Die transportierenden Kräfte sind erstens die großen Überflutungen einzelner Talsysteme. Im September 1921 wurden die Opuntien längs der

Ufer des Carore Creek in einer Länge von 120 km und bis in einem Abstand von über 1 km verbreitet.

Eine zweite Ursache der Verbreitung sind die Vögel (Emu, Strepera graculina und Catteturus Cathami), die besonders an Tränkstellen die gefressenen Samen mit dem Kot verteilen.

Das seit 60 Jahren infizierte Gebiet betrug pro Jahr etwa eine Million Acker, entsprechend einer jährlichen Zunahme von 5 %. Vor 25 Jahren war die Gegend bei Mirambie noch frei, während jetzt etwa 80 % des Geländes von riesigen Opuntiengebüschen eingenommen wird.

Aber man muß bei solchem Transport immer daran denken, daß jede Pflanzenart an die klimatische Grenze ihres Standortes angepaßt ist und diese schwer überschreiten kann, weil sie, wie Darwin schon erkannte, an der Grenze ihres natürlichen Lebensraumes steril sind. So wächst Hedera helis im nördlichen Schweden, blüht und trägt Früchte aber nur in den südlichen Provinzen.

Obwohl in interglazialen Mooren Dänemarks zahlreiche Samen von Stratiotis, Hydrocharis, Brasenia und Trapa gefunden werden, reifen dieselben Arten heute nicht mehr Früchte, obwohl sie, abgesehen von den klimatischen Bedingungen, an denselben Standorten leben.

Der Paläontologe muß also damit rechnen, daß außerhalb des heimatlichen Standortes neue Rassen erscheinen, und daß vielleicht sogar neue Arten in ein vorher unbesiedeltes Gebiet einwandern, die nicht als chronologisch verschieden betrachtet werden dürfen.

Eine Reihe berühmter Biologen von R. Wallace bis auf H. F. Osborne und von R. Wagner bis auf E. Stromer haben die heutige und frühere Verbreitung der Säugetiere tiergeographisch betrachtet und sind dabei zur Annahme von größeren Festländern gelangt, die als Heimat oder Wanderziel solcher Gruppen wahrscheinlich sind.

Aber alle diese Arbeiten projizieren phyletische Beziehungen auf leere Landflächen, und so bleiben Unstimmigkeiten zwischen den verschiedenen Autoren bestehen, weil die Umwelt jener Faunen nicht genügend berücksichtigt wurde.

Die künftige palaeographische Forschung muß zunächst das Ausgangszentrum einer wandernden Fauna geographisch umgrenzen, dann topographisch gliedern. An der Hand der noch vorhandenen Reste ehemaliger „Böden“ und festländischer Ablagerungen müssen die dort herrschenden klimatischen Umstände erforscht und das Pflanzenkleid mit Hilfe der an verstreuten Fundorten erhaltenen Flora untersucht werden.

Erst wenn diese Voraussetzungen gegeben sind, wird auf lebensvollem Hintergrund das Lebensschicksal der dort gefundenen Fauna vor unserem Auge wieder erstehen.

Wenn wir eine wandernde Synusie als ökologische Einheit betrachten, so müssen wir hier nochmals auf den Gegensatz wasseratmender und luftatmender Organismen hinweisen. Die Hydropneusten wandern, mögen sie zum autotrophen Pflanzenreich oder zu den heterotrophen Tieren gehören, meist als meroplanktonische Jugendformen und da das Weltmeer eine ungeteilte Einheit ist, erfüllt mit einer einheitlich gesalzenen Lösung, so sind solchen Wanderungen nirgends topographische Grenzen gesetzt und die Lebewelt jedes Meeresteiles kann grundsätzlich jeden anderen Lebensbezirk der Hydrosphäre erreichen.

Auch die Temperatur und die Dunkelheit der tieferen Wasserschichten sind fast überall die gleichen. Nur in den höheren Wasserschichten der Hochsee und des Süßwassers treten Luft und Temperatur als bionomische Faktoren in den Vordergrund. Überall aber spielt die lithologische Beschaffenheit der örtlichen Fazies eine entscheidende Rolle. Wichtig ist endlich, daß eine marine Synusie stets auch autotrophe planktonische Pflanzen enthält, so daß überall mit dem Wasser auch die Nahrungsquelle des tierischen Lebens erscheint.

Grundverschieden verhalten sich die Aeropneusten. Jedes Festland ist eine kleine oder große Insel, von den übrigen Trockengebieten durch Meeresstraßen getrennt, die nur wenige Lebewesen überschreiten können. Die festgewachsenen Pflanzen können meist nur im Jugendstadium als Samen oder Sporen wandern, während die freibeweglichen Tiere erst als erwachsene Personen fähig sind, selbständige aktive Ortsveränderungen auszuführen. Ihre dauernde Ansiedlung in der neuen Heimat ist von dem Vorhandensein geeigneter Nahrung abhängig, setzt also im Grunde genommen, die vorherige Ansiedlung einer nahrungsspendenden Flora voraus.

Wenn man erwägt, wie verwickelt diese verschiedenen migratorischen Vorgänge durch die Verteilung der Klimazonen, den Verlauf der Küstenlinie oder trennendes Gebirge und die örtlichen Standortsbedingungen werden, dann kann man wohl verstehen, warum die luftatmenden Pflanzen und Tiere wohl dieselbe Geschlossenheit in ihrem geologischen Auftreten zeigen, aber zugleich eine stratigraphische Gliederung der sie umhüllenden Gesteine große Schwierigkeiten bietet.

Eine wandernde Lebensgenossenschaft der Festländer wird meist während ihres Ortswechsels floristisch und faunistisch zerlegt, und es hängt oft vom Zufall ab, wie viele Arten des einen Standorts die neue Heimat erreichen. Damit hängt es zusammen, daß die Fossillisten luftatmender Synusien viel lückenvoller sind, als dies bei den wasseratmenden Lebensgenossen der Fall ist.

Ebenso wie neue Arten der Wasseratmer stets transgredierend und ohne vermittelnde Varietätenreihen auftreten, so beobachten wir bei den Bewohnern des Festlandes immer wieder, daß der Artwechsel mit

einem Ortswechsel verbunden ist. Selbst größere Synusien erscheinen stets bodenfremd als von einem entlegenen Standort einwandernde Lebensgenossenschaften und überlagern ältere, artverschiedene Floren oder Faunen.

Der Weg dieser biologischen Transgressionen ist ebenso wie bei den Wassertieren nicht durch mutierende Übergangsreihen von einer Art zur andern überstreut, sondern auch auf dem Festlande wandert die neue Art unverändert, bis sie ihren neuen Wohnraum erfüllt.

Aber in einem Punkt unterscheiden sich die Luftatmer grundsätzlich von den Wasseratmern: Denn jene ändern ihre Artcharaktere nicht automatisch in gleichem Schritt, sondern ihre Verteilung in Raum und Zeit ist viel regelloser. Bald bleiben ganze Synusien auf einem älteren Entwicklungsniveau stehen, bald eilen die Bewohner eines Festlandes ihren, auf anderen Kontinenten verbreiteten, Lebensgenossen weit voraus.

So bestimmt der Lebensraum und seine beständig wechselnden Grenzen die Schicksale der Landwelt, und jeder Klimawechsel äußert sich hier anders, wie dort Damit hängt aufs engste zusammen, daß sich fortschreitende und rückschreitende, verzögerte und beschleunigte Entwicklungsvorgänge nebeneinander abspielen und daß die gleichzeitigen Bewohner verschiedener Festländer phyletisch auf einer ganz verschiedenen Höhe der Entwicklung stehen können.

Literatur

Andrews, C. E., Geographical unity of Eastern australia Sydney. 1910. — Antevs, Ernst, On the Pleistocene History of the Great Basin. Publication Nr. 352 of the Carnegie Institution of Washington, p. 51. — Chamberlin, C. T., The Origin of the Earth (Chicago). 1916. — Ernst, A., Die neue Flora der Vulkaninsel Krakatau. Zürich 1907. — Haecker, V., Umwelt und Erbgut. Hallische Universitätsstudien Nr. 29, 1926. — von Huene, Friedrich, Wirbeltierfaunen des permischen Festlandes in Europa und ihre Zusammenhänge. Gesellschaft Tübinger Naturwissenschaftl. Abhandlg. Nr. 9, Stuttgart 1925. — Lydekker, Die geographische Verbreitung und geologische Entwicklung der Säugetiere. Jena 1897, S. 347ff. — Nopsa, F., Baron von. Proc. Geol. Soc. of London 1922, S. 58. — Osborn, Fairfield, Henry, The Law of Adaptive Radiation. The American Naturalist, Vol. XXXVI, No. 425, 1902. — Ratzel, Friedr., Der Ursprung und das Wandern der Völker geographisch betrachtet. Bericht der philologisch-historischen Klasse Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften. Leipzig 1898. — Rüdemann, Rudolf, Neuere amerikanische Theorien über die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Sonderdruck aus der Steinmann-Festschrift 1926. — Sarasin, Fritz, Über die Geschichte der Tierwelt von Ceylon. Zoolog. Jahrb. Supplement 12, Heft 1, 1910. — Schlosser, M., Über Tullbergs System der Nagetiere. Zentralblatt für Min. 1902, S. 705. — Semon, Richard, Im australischen Busch und an den Küsten des Korallenmeeres. Reiseerlebnisse und Beobachtungen eines Naturforschers in Australien Neu-Guinea und den Molukken 1896. — Stromer, E., Über die Bedeutung der fossilen Wirbeltiere Afrikas für die Tiergeographie. Sonderdruck aus der Verhandlung der Deutschen Zoolog. Ges. 1906. — Stromer, E., Über Relikten im indopazifischen Gebiet. Zentralbl.

f. Min. etc., Jahrg. 1910, Nr. 24. — Süßmilch, A. C. Geology of New South Wales, Sydney 1914. — Treub. Sur la nouvelle flore de Krakatau. Ann. du jardin botanique de Buitenzorg VII, 1888. — Volz, Wilhelm. Jungpliozänes Trockenklima in Sumatra und die Landverbindung mit dem asiatischen Kontinent. Gaea 1909, Heft 7/8.

64. Die Sonne und das Leben

Die Zustände der Gegenwart sind nicht nur der Ausgangspunkt von dem aus jeder denkende Mensch sein Weltbild formt, sondern sie bilden auch die Grundlage aller naturgeschichtlichen Erkenntnis. Erst wenn wir unsere Umwelt überschauen, können wir beginnen historisch zu denken und in der Vergangenheit die ursprünglichen Wurzeln des natürlichen Geschehens suchen.

So bildet die Ontologie nicht nur die Voraussetzung, sondern auch den Führer für die Probleme der Paläontologie.

Mit vollendeter Meisterschaft hat A. v. Humboldt in seinem Kosmos ein Gemälde der heutigen Umwelt gezeichnet, und wenn ihm auch der Tod im Jahre 1859 die Feder aus der Hand nahm, so daß die großzügige physische Weltbeschreibung unvollendet blieb, so dürfen wir doch darin die Grundzüge des damaligen Naturerkennens sehen.

In demselben Jahre erschien in England ein Buch, das eine Revolution des Denkens auf allen Gebieten der beschreibenden Naturwissenschaft hervorrief. Die Umstände, unter denen die Entstehung der Arten von Ch. Darwin entstand, sind wenig bekannt, und doch überaus bedeutsam:

In dem Kreis der Biologen, die damals das englische Geistesleben beherrschten, spielte der Geologe Ch. Lyell, dessen wir als Begründer des Aktualismus mehrfach gedacht haben, die führende Rolle. Aus Darwins Lebensbeschreibung geht hervor, welchen befruchtenden Einfluß Lyell nicht nur auf die Geologie seiner Zeit, sondern ebenso auf alle Nachbarwissenschaften, ganz besonders aber auf Ch. Darwin selbst, ausgeübt hatte. Ch. Lyell wußte, daß Ch. Darwin seit 1844 ein Manuskript über die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl abgeschlossen hatte, und war daher sehr überrascht, als ihm der, durch seine Reisen in Brasilien und in Insulinde weltberühmte Biologe A. R. Wallace ein Manuskript übersandte, das denselben Gedanken der natürlichen Zuchtwahl behandelte. Lyell veranlaßte, daß beide Abhandlungen gleichzeitig veröffentlicht wurden. Als aber Ch. Darwin seine Lehre in weiteren Schriften ausführlich begründete, trat sein Freund und Nebenbuhler Wallace freiwillig in den Hintergrund und überließ Darwin den weiteren Ausbau der neuen Lehre.

Obwohl heute auch Darwin in vielfacher Hinsicht überholt erscheint, und die biologische Naturforschung weit über ihn hinausgeschritten ist, leitet doch das Erscheinen seines Buches den großen Wendepunkt

unseres gesamten biologischen Denkens ein, das seither überall vom historischen Gedanken beherrscht wird.

Auf allen Gebieten erscheint uns heute die Gegenwart als das Endprodukt langer vorhergehender Kausalreihen. So wird die rezente Umwelt und die darin verbreitete Lebewelt zu einem Endabschnitt vorausgegangener Perioden, und die historische Vergangenheit bestimmt den heutigen Zustand des ontologischen Seins.

Aber zugleich wird die Gegenwart zum Schlüssel für die Rätsel der Vorzeit. denn der von K. von Hoff zuerst formulierte und dann von Ch. Lyell weiter ausgeführte Gedanke, daß zwischen den historischen Vorgängen der Vergangenheit und denjenigen der Gegenwart kein grundsätzlicher Unterschied bestehe, so daß man aus dem ontologischen Geschehen, das paläontologische Werden erklären kann, beherrscht heute alle Zweige der Naturforschung.

Wenn wir von diesem Standpunkt aus jetzt auf die in den früheren Abschnitten dieses Buches behandelten Erscheinungen zurückblicken, so sehen wir die heutige Erdkugel von einer dünnen Lockerzone umgeben, in welcher und auf der zahllose scharfgesonderte Arten von Pflanzen und Tieren, zu geschlossenen Synusien vereint, leben. Wir sehen die Organe jedes Lebewesens in innerer Harmonie und in gegenseitiger Abhängigkeit ontogenetisch entstehen, und erkennen, daß ihre Funktion in strenger Abhängigkeit von der Umwelt des Standortes steht. Ob man diese organische Harmonie auf eine mystische teleologische Ursache zurückführt, ob man mit Lamarck in ihr die umformende Anpassung an die Außenwelt erblickt, oder ob man an ein formatives Prinzip, das allem Organischen innewohnt, glaubt — so wird doch jeder denkende Beobachter in diesem, trotz aller Veränderungen immer wieder hergestellten harmonischen Gleichgewicht zwischen Organisation und Umwelt die wesentliche Eigenschaft des organischen Lebens sehen.

Wenn wir aber unseren Blick von diesen harmonischen Zuständen der Gegenwart nach den früheren Zuständen unseres Erdballs lenken, wenn unser Auge, durch ontologische Beobachtungen geschult, die paläontologischen Vorgänge zu erkennen sich bemüht, dann sehen wir in den sich regelmäßig überlagernden Schichten der Erdrinde, zwei verschiedene Gruppen von Erscheinungen, die man als anorganische Felsarten dem abiologischen Reich der toten Steine zuwies, und als chronologisch geordnete Fossilien biolologisch und systematisch untersuchte.

Wir verbinden beide zu einer neuen Einheit, betrachten das fossilführende Gestein als einen belebten Standort und sehen in der sich überlagernden Schichtenfolge eine natürliche Zeitfolge, welche es uns ermöglicht, die Geschichte des Lebens im Rahmen seiner Umwelt zu untersuchen.

Indem wir von diesem Standpunkt aus den Schichtenstoß der Erdrinde betrachten, sehen wir zunächst den Gegensatz des liegenden kristallinen, fossilleeren Grundgebirges und der hangenden fossilführenden Gesteine. Das erstere mit einer Gesamtmächtigkeit von mehr als 20000 m enthält so viele metamorphe Sedimente (Paragneise), und die darauf lagernden untersten fossilführenden Schichten des Kambrium enthalten eine so hochentwickelte Fauna, daß wir in jenen die bei der Vergneisung zerstörten Reste älterer Synusien suchen müssen, selbst wenn keine Spur derselben heute erkennbar ist. Eine kritische Analyse des Lebens der ältesten Periode der Erdgeschichte ist daher auf geologischem Wege unmöglich.

Aber wenn auch kein geologisch gangbarer Weg durch die rätselhaften kristallinen Schiefer hinab zu jener Tiefenzone führt, wo die ersten Anfänge des irdischen Lebens einst ihre Spuren in gleichzeitig gebildeten Sedimenten abdrückten, so kann es für den Biologen doch keinem Zweifel unterliegen, daß das Leben auf der Erde bodenständig entstanden ist.

Unter den vielen Phasen in der Entwicklungsgeschichte unseres Planeten ist eine dadurch ausgezeichnet, daß anorganische Stoffe unter dem Einfluß des Sonnenlichtes in eine neue molekulare Gruppierung gedrängt wurden, die trotz andauerndem Wechsel der aufbauenden Atome eine Gestaltung annahm, die sich in innerer gegenseitiger Harmonie der eigenen Organe und in korrelativer Harmonie mit der anorganischen Umwelt immer wieder erhielt, fortpflanzte und ergänzte.

Diese Anfangsstadien des organischen Lebens konnten nicht, wie manche Abiologen annehmen, von einem andern Weltkörper nach unserer Erde herunterfliegen, sondern sie entstanden in strenger Abhängigkeit von irdischen Zuständen. Die Lichtstrahlen der Sonne waren der Anlaß für ihre Entstehung und sind seither die grundlegende Ursache für ihre Weiterdauer geblieben.

So finden wir am Anfang allen organischen Lebens den schöpferischen Lichtstrahl des fernen Zentralgestirns und sehen ihn bis ans Ende desselben wirken.

Festen Grund unter den Füßen fühlen wir erst im Unterkambrium oberhalb der agnostozoischen Grenze, und so sind die seither aufgelagerten 25000 m fossilführende Gesteine das eigentliche Forschungsgebiet der biologischen Geologie.

Wenn wir sie betrachten, so erkennen wir zunächst einen beständigen Wechsel fossilreicher, fossilarmer und fossilleerer Gesteine. Die letzteren waren entweder durch die Umstände ihrer Bildung ungeeignet, um Reste des damaligen Lebens zu enthalten (vulkanische Massen, chemische Niederschläge) oder wurden in lebensfeindlichen Bildungsräumen abgelagert (Halistasen, Salzseen, unbeständiger Salzgehalt

und Temperatur des Wassers, Eisboden, Schnee und Gletschermassen). Übergänge finden sich an ihren Grenzen und führen zu einer raschen oder langsameren Wechsellagerung fossilreicher und fossilarmer Gesteine.

Der Wechsel des Mediums (Wasser, Luftmeer), unter dessen Herrschaft das betreffende Gestein entstand, ist oft über weite Flächen zu verfolgen und bedingt Transgressionen oder Regressionen.

Aber stets ist der Gesteinswechsel von einem Synusienwechsel begleitet, so daß die Bedeutung des Standorts für die Verbreitung der Lebewelt auch hier überall erkennbar ist.

Man hat eine Anzahl Transgressionen über so weite Flächen verfolgen können, daß man in einer solchen Veränderung des bodenständigen Mediums die wichtigste Ursache für grundlegende Veränderung der Lebewelt sehen zu dürfen glaubte. Aber bei genauerem Studium gleichzeitig gebildeter, konkordanter Schichtenfolgen ergab sich, daß weder die mitteldevonische, noch die mittelpermische, weder die Dogger- noch die Cenomantransgression eine allgemeine Umprägung der marinen Lebewelt bedingte.

In allen Schichten der 25 000 m mächtigen Schichtenfolge herrschen wohlgesonderte gute Arten vor, zwischen denen nur vereinzelt variierende Formenkreise gefunden werden.

Die Arten der Wasseratmer sind zu kleinen oder großen Synusien verbunden, an deren Grenzen durch allmählichen Artenersatz, andere gleichalterige Synusien lebten. Die festländischen Synusien der Luftatmer werden durch die Grenzen der Kontinente schärfer gesondert und haben meist längere Perioden hindurch ihre systematische Eigenart behalten.

Indem wir jetzt die sich überlagernden Gesteine als Ausdruck einer Zeitfolge betrachten, sehen wir zunächst, daß mit einem Gesteinswechsel meist auch ein Faunenwechsel verbunden ist. Alle bodenständigen Formen verschwinden mit der Fazies und kommen meist erst wieder, wenn dieselbe Fazies im Hangenden wieder auftritt.

Aber wie die plötzlich auftretenden und rasch verschwindenden Gliederungsfossilien bezeichnend für die Fazies sind, so gibt es dazwischen Dauerformen, welche unbekümmert um die Grenzen der Gesteine größere Schichtenfolgen erfüllen. Sie geben der Synusie ihr Gepräge und ihre Arten wandeln sich nur in größern Zeitabschnitten.

Bei dem Bestreben, in dem 25000 m mächtigen Schichtenstoß der klastischen Erdrinde kleinere und größere systematische Gruppen (Formationen) zu unterscheiden, wurden zuerst bestimmte vorherrschende Hauptgesteine benutzt und viele Formationsnamen (Steinkohle, Buntsandstein, Muschelkalk, Kreide) sind seit jener Zeit in der Literatur erhalten geblieben.

Aber die vergleichende Betrachtung der Schichtenfolge verschiedener Länder ergab allmählich, daß die Gesteine zwar entscheidend für die Einzelgliederung der Schichtenfolge, aber für eine chronologische Zeitbestimmung nebensächlich sind.

Auch die in einzelnen Ländern verfolgten Transgressionen haben nur geringen Einfluß auf den allgemeinen Wandel des Lebens gehabt. Dagegen ergab sich als biologische Regel ein beständiger irreversibler Wechsel der Arten und zwar meist ohne vermittelnde Übergänge.

Diese Erfahrung wurde zuerst an dem Fossilgehalt mariner Schichten festgestellt, und obwohl man in der Folgezeit oft versuchte, einen ähnlichen regelmäßigen Artwechsel auch bei limnischen, salinischen oder festländischen Formen zu finden, so hat sich doch allmählich immer klarer herausgestellt, daß diese Regel des beständigen Artwechsels in der Zeitfolge eigentlich nur für die Meeresfauna gilt — für jenes Reich der Hydropneusta, die wir als die ältere Lebewelt der Erde betrachten müssen.

Wir wollen uns auch hier zunächst nur an die chronologische Folge dieser marinen Synusien halten, um festzustellen, welche weiteren Gesetze ihre Verteilung in den Erdschichten regeln:

Unter den marinen Organismen der Vorzeit erkannte man bald eine Gruppe von Arten, die sich nicht nur in rascher Folge zeitlich ablösen, sondern zugleich während ihres Lebens so weit verbreitet waren, daß man mit ihrer Hilfe die Gleichzeitigkeit entlegener Schichten und das relative Alter der Faunen eines isolierten Fundortes bestimmen konnte. Solche Leitfossilien kamen zwar in allen Formenkreisen gelegentlich vor, aber die meisten und besten Leitformen gehören den Graptolithen und den gekammerten Cephalopoden an, deren planktonische, pseudoplanktonische oder nekroplanktonische Verbreitungsform von uns mehrfach besprochen worden ist.

Aber neben diesen kleinen chronologischen Unterschieden beobachten wir in den sich überlagernden Gesteinen noch andere, größere Gegensätze, die dazu geführt haben, eine allgemeine Systematik der Erdschichten auf Grund ihres Fossilgehaltes durchzuführen. Diese als „Stratigraphie“ bezeichnete Methode hat sich nicht nur für die praktische Durchforschung, Kartierung und Ausbeutung der Erdrinde in allen Kontinenten bewährt, sondern hat auch die Grundlage für die Gruppierung der historischen Perioden geboten.

Wenn irgendwo in der Welt ein Gestein, eine fossile Art, oder eine Lagerungsform als „Devon“ oder „Jura“ erkannt worden ist, so handelt es sich um eine exakte chronologische Feststellung, und eine solche konnte nur an der Hand der dort gefundenen Reste fossiler Arten erfolgen.

Eine solche Altersbestimmung ist rein empirisch zu bewerten, denn man kann einer noch unbeschriebenen neuen Art nicht mit Sicherheit ansehen, welchen geologischen Alters sie ist. Erst nachdem ihr „Lager“ in einer schon bekannten Reihe fossilführender Schichten genau festgestellt war, konnte die neue Art unter die Zahl der zeitbestimmenden Leitfossilien aufgenommen werden.

Wenn nun in einem 25000 m mächtigen Schichtenstoß ein gleichmäßiger irreversibler Artwechsel aller marinen Formenkreise in der ganzen Welt ausnahmslos beobachtet wird, wenn dieselbe Art, nachdem sie einmal ausgestorben ist, niemals wiederkehrt; wenn andererseits keine einzige marine Art von unbegrenzter Lebensdauer bekannt ist, dann müssen wir in diesem Artwechsel die biologische Wirkung eines lebensnotwendigen, ebenso gleichmäßigen und irreversiblen Vorgangs in der Umwelt der Wasseratmer sehen.

Wir haben im Abschnitt 61 begründet, weshalb wir die beständige Änderung des Salzgehalts im Weltmeer für die Ursache des marinen Artwechsels halten müssen. Kein anderer Vorgang von ähnlicher Größe und von ähnlicher physiologischer Wirkung ist in der Geschichte des Weltmeers nachzuweisen.

Wir halten also den beständigen und gleichmäßigen Artwechsel der marinen Lebewelt für einen chemisch-osmotisch begründeten Vorgang, und sehen in allen Veränderungen der unter dem Wasserspiegel lebenden Synusien die Wirkung jener chemischen Wechselbeziehungen zwischen dem lebenden Protoplasma und seiner Umgebung, die J. Loeb als Chemotropismen bezeichnet hat.

Mit verschwenderischer Hand sendet die Sonne nach allen Seiten des kalten Weltenraumes ihre strahlenden Lichtwellen und ihre dunklen Wärmewogen, deren weitere Schicksale zum allergrößten Teil für unsere Beobachtung verschwinden. Denn die Erde steht zu fern und bildet einen so kleinen Weltkörper, daß nur der $^1/_{2250000000}$. Teil der Sonnenstrahlen auf sie kommt.

Aber diese verhältnismäßig so geringe Strahlenmenge ist doch stark genug, um auf unserer Erde die wichtigsten Vorgänge in der unbelebten und belebten Natur in Gang zu halten.

Wir wissen, daß die Sonnenstrahlen als Licht und als Wärme auf der Erdkugel wirksam werden, und um den beherrschenden Einfluß derselben auf alle irdischen Vorgänge richtig würdigen zu können, wollen wir einmal erwägen, welche Veränderungen auf der Erde noch übrig bleiben würden, wenn die Sonnenstrahlung ausgeschaltet wäre:

Eine von einer erkalteten Lithosphäre, einer flüssigen Hydrosphäre und einer gasförmigen Atmosphäre umgebene Erdkugel würde ohne die Sonne an ihrer Oberfläche allmählich die niedrigste Temperatur des sie

umgebenden Weltenraumes annehmen, die wir nach den tiefsten irdischen Wintertemperaturen auf weniger als —65° schätzen dürfen.

Es müßte alles vadose Wasser in den festen Zustand übergehen. Die Oberschicht des Weltmeeres würde ebenso zufrieren wie Flüsse, Seen, Sümpfe und alle in der äußeren Zone der Erdrinde eingeschlossenen lithosen Grundwasser. Nur solche Quellen würden sich durch diese Eiskruste einen Weg bahnen, die aus der Eruptose der unterirdischen heißen Magmazone entspringen.

Die Abkühlung des Erdballs würde allerdings ohne Zweifel weiterschreiten und sich in Faltenzügen und Spaltengebirgen äußern; als Folge derselben würden auf tiefreichenden Zugspalten Vulkane entstehen, deren heiße Lavaströme und glühenden Dämpfe lokale Wärmeherde erzeugen und Störungen im Gleichgewicht der Atmosphäre verursachen müßten. Aber wenn auch die Rotation der Erde solche aufsteigenden Luftwirbel verlagern und in horizontal gerichtete Luftströmungen umbiegen würde, so müßte doch mit dem Erlöschen der vulkanischen Tätigkeit auch die träge Ruhe der Atmosphäre immer wieder eintreten.

Auch das Meer würde unter dem Einfluß submariner Eruptionen aus seinem Gleichgewicht gebracht und die lokale Erhitzung desselben würde seine Fluten bewegen; aber zuletzt würde nur noch die Anziehung des Mondes eine durch die elastische Eisdecke gedämpfte Gezeitenbewegung in Gang halten.

Von allen Abhängen würden sich unter dem Einfluß der Schwerkraft kleine und große Schuttkegel herabbewegen, aber kein Wind und kein Regen würde diesen Schutt sortieren oder weitertragen.

Alle anderen so selbstverständlich erscheinenden Zustände und so mannigfaltigen Veränderungen, die wir von unserer Erde täglich zu sehen gewohnt sind, würden einer sonnenlosen Erde fehlen. Kein Klimagürtel würde ihre Oberfläche beeinflussen, die Jahreszeiten könnten nicht wirken, Wind und Stürme, Regen und Flüsse, Meeresbrandung und Talbildung, Abtragung und Auflagerung, Erosion und Deflation, die Bildung von Trümmergesteinen oder chemischen Niederschlägen und alle organischen Vorgänge wären ausgeschlossen.

Denn wenn wir im lebenden Protoplasma eine wässerige Lösung von Eiweißverbindungen und anderen Stoffen sehen, so setzt seine Existenz das Vorhandensein von flüssigem Wasser voraus, und wenn autotrophes Protoplasma nur unter dem Einfluß des Lichts entstehen und leben kann, so reicht das Glühen einzelner Vulkangruppen auf einer sonnenlosen Erde nicht aus, um Leben zu erzeugen und zu erhalten.

Der Anfang, die Dauer und das Ende des Lebens sind also abhängig von den Licht- und Wärmestrahlen der Sonne, und so können wir wohl sagen, daß die Geschichte des Lebens zugleich die Geschichte der Sonnenstrahlung ist.

Um zu prüfen, welchen Einfluß die rein tellurischen Vorgänge auf die Veränderungen der Lebewelt in Raum und Zeit haben, wollen wir die hydropneuste Wasserwelt, von der luftatmenden Landwelt getrennt, behandeln.

Die Wasseratmer werden in ihren Lebenserscheinungen physiologisch wesentlich von der Zusammensetzung ihres Mediums bestimmt. Der Gegensatz von normal gesalzenem Ozeanwasser, Brackwasser, Süßwasser und Salzseewasser regelt ihre Verbreitung, ihre Artenzahl und ihre Schicksale. Eine große Rolle spielt die Wassertiefe, nicht wegen des wechselnden Druckes, dem die meisten Wassertiere sich rasch anpassen, aber wegen der nur in die hohen Wasserschichten eindringenden Licht- und Wärmestrahlen der Sonne. Als Wirkung irdischer Vorgänge tritt aber die Fazies des Untergrundes lebensbestimmend hervor und regelt die regionale Verteilung der Bodenwelt und der von ihr abhängigen nektonischen Formen. Unabhängig von der Fazies des Untergrundes sind allein das Plankton und die nekroplanktonischen Treibkörper.

Tellurische Ursachen ändern den Salzgehalt des Ozeans, denn die eruptosen Gase vulkanischer Eruptionen sind die wichtigen Quellen der im Seewasser gelösten Stoffe.

Wenn nun, wie wir ausführten, die kontinuierlichen Änderungen des Salzgehaltes im Meer die letzte Ursache für die Änderungen der Artcharaktere sind, so können wir auch verstehen, weshalb der sammelnde Geologe in jeder verschieden-alten Gesteinsschicht andere, neue Arten findet. Zugleich macht es die Stetigkeit dieser Änderungen der Salinität der Ozeane verständlich, weshalb die marinen Lebewesen in immer neue Arten umgeprägt werden, die niemals reversibel sind und daher eine eindeutige Chronologie der Erdschichten ermöglichen.

Seitdem die altzeitlichen Urwüsten ein Pflanzenkleid tragen und zur Heimat einer vielgestaltigen Fauna geworden sind, haben sich die festländisch gewordenen Formenkreise aus den gleichmäßig und zäh wirkenden, universell verbreiteten Lebensbedingungen der Salzflut gelöst und sind Bewohner eines neuen Mediums mit völlig anders gearteter Umwelt geworden.

Es nimmt uns nicht wunder, daß auch diese festländisch gewordenen Formenkreise sich die, unter dem Meer in der langen geologischen Urzeit erworbenen, Eigenschaften des Formenwechsels erhalten haben. Auch sie stehen unter den Sondergesetzen wandelbarer Selbstregulierung und erreichen die Endform ihrer ontogenetischen Entwicklung mit ebensolcher Sicherheit, wie sich unter dem Einfluß einer wandelbaren Umwelt die Endformen neuer Arten entfalten.

Aber der regelmäßige Rhythmus des Artwechsels fehlt, weil über dem Spiegel des Weltmeeres die unaufhörlich wirkende Änderung des

Mediums fehlt; und völlig anders geartete bionomische Umstände über dem Wasserspiegel andere biologische Wirkungen bedingten.

Grundverschieden ist der insulare Charakter des Festlandes, der durch tellurische Vorgänge bestimmt wird. Wechselnd ist die Größe, Küstenlinie und Oberflächengestalt des Lebensraums. Aber das wesentlich Neue liegt darin, daß jetzt das solare Klima mit seinen Wärmestrahlen, in beständigem Konflikt mit der Fläche der Festländer und seinen topographisch-hydrographischen Zuständen, die Schicksale der Flora und Fauna bestimmt.

Immer wieder bemüht sich die einzelne Art nicht nur eine innere, korrelative Harmonie ihrer Organe herzustellen, sondern auch mit deren Hilfe sich mit den an ihrem Standort herrschenden klimatischen Umständen in ein harmonisches Gleichgewicht zu bringen.

Aber die äußeren Lebensbedingungen wechseln unter dem Einfluß solarer und tellurischer Vorgänge. Gebirge entstehen und werden wieder abgetragen, Wasserscheiden verlagern sich, die Pole verändern ihre Lage und alle dort lebenden Synusien kommen dadurch in eine disharmonische Lage. Sogar jede Transgression oder Regression verändert die Verteilung der Festländer nach Umfang und Zusammenhang, und so wird die luftatmende Lebewelt unaufhörlich aus ihrer Ruhe gebracht und das Bestreben jeder Synusie, sich den äußern Verhältnissen harmonisch anzupassen, wird immer wieder durchkreuzt.

Alle diese geographischen Änderungen werden in ihrer das Leben fördernden oder hindernden Wirkung noch wesentlich vermehrt durch Änderungen in der Strahlungsenergie der Sonne.

Es mag vielen Naturforschern, die gewohnt sind, die Stärke der Sonnenstrahlung als eine konstante Größe zu betrachten, befremdend erscheinen, wenn wir hier mit der Möglichkeit einer Änderung derselben rechnen. Aber indem wir den Gang des Lebens im Laufe langer Zeiträume überblicken und uns bemühen, seine Veränderungen in Raum und Zeit von einem höhern Standpunkt aus zu verfolgen, sehen wir das Eingreifen solarer Kräfte in wechselnder Intensität und so gleichzeitig über die ganze Erde verbreitet, daß wir deren Ursachen nicht in den örtlichen, tellurischen Umständen, sondern in den durch das Klima vermittelten Veränderungen der fernen solaren Kraftquelle suchen müssen.

Obwohl es in den früheren Abschnitten dieses Buches unser Bestreben war, statt einer monodynamischen Betrachtung der irdischen Erscheinungen das polydyname Wechselspiel der Kräfte in ihren lithogenetischen und biologischen Wirkungen aufzudecken, und wir bemüht waren, auch die Organismenwelt in dieses verwickelte Zusammenwirken des erdgeschichtlichen Geschehens einzuordnen, so kann es doch keinem Zweifel unterliegen, daß die meisten Vorgänge des organischen Stoffwechsels, der organischen Gestaltung, der geographischen Verbreitung und

der geologischen Geschichte der Organismen von den Licht- und Wärmestrahlen der Sonne bestimmt werden. In dem organischen Leben, ebenso wie in den Zuständen seiner Umwelt spiegeln sich wesentlich solare Kräfte, und ihre Intensität muß veränderlich gewesen sein, sonst lassen sich gerade die größten erdgeschichtlichen Umgestaltungen des Lebens nicht verstehen.

Das große Problem der allgemeinen Biologie ist es, zu entscheiden, ob die Organismen durch innere, dem Protoplasma eigentümliche, oder durch äußere, von der Umwelt bestimmte Ursachen, verändert wurden. Alle Anschauungen über diese Fragen, die man aus dem Studium der rezenten Flora und Fauna gewonnen hat, beruhen auf einem nicht historisch geordneten Tatsachenmaterial und entbehren daher des sichern Nachweises, welche Erscheinungen älter und welche zeitlich jünger sind.

Der Wandel des Lebens in Raum und Zeit kann auf Grund geologischer Erfahrungen viel weitreichender begründet werden. Denn eingeordnet in einen Schichtenstoß von 25000 m liegt die Geschichte des Lebens klar vor unsern Augen. Die anorganischen Vorgänge, welche die Bildung, Übereinanderlagerung und Mächtigkeit dieser Gesteine bedingt haben, beweisen die unermeßliche und unmeßbare Länge der Zeiträume, innerhalb deren das irdische Leben ohne Unterbrechung existierte, und die Gesteine, welche die Fossilien umschließen und von ihrem Todestag bis heute konserviert haben, zeigen uns die wechselnde Umwelt, unter der diese einst lebten. Sie lassen uns auch leicht erkennen, welche Formenkreise unter und welche über dem Wasserspiegel atmeten, assimilierten und lebten.

Indem wir auf Grund solcher Beobachtungen die später entstandene Welt der Luftatmer von dem ursprünglich marinen Heimatsgebiet des Lebens trennten, erkannten wir, daß jedes dieser großen Weltreiche einen andern Gang organischer Formveränderungen zeigt.

Die marinen Wasseratmer, deren Schicksale wir durch den Schichtenstoß der Gesteine verfolgen können, bilden während dieser langen Zeiträume immer neue Arten, aber keineswegs durch allmähliche Übergänge verbunden, sondern nach Artcharakteren scharf gesondert.

Das allgemeine Fehlen solcher Übergangsformen beweist, daß der Formenwechsel immer wieder zu stabilen Endformen führt. Da die vermittelnden Glieder fehlen, müssen wir annehmen, daß sie während der Jugendzeit durchlaufen worden sind und da diese Paedogenese der marinen Formenkreise mit einem meroplanktonischen Leben im offenen Wasser der Hochsee, unabhängig von den Lebensbedingungen des Meeresbodens verbunden war, kommen wir zu dem Schluß, daß der beständig wechselnde Salzgehalt des Meerwassers die eigentliche Ursache des Artwechsels gewesen sein muß.

Aber die Geschichte des marinen Lebens lehrt uns noch andere Tatsachen, die uns vor neue Probleme stellen. Denn trotz des be-

ständigen Artenwechsels und der damit verbundenen Substitution einer Fauna durch die folgende, hat die beobachtende Geologie größere Zeitabschnitte unterschieden, innerhalb deren der allgemeine Faunencharakter nur wenige Änderungen erfährt, und an deren Schluß eine grundsätzliche Umgestaltung des marinen Lebens erfolgt ist.

Die erste dieser großen Wandelungen in dem marinen Faunenbild der Vorzeit erfolgte am Schluß des Kambrium. Neben den von hier bis zur Gegenwart lebenden Brachiopoden, den Cystoiden und Trilobiten, die ihre Blütezeit erst im Silur erreichen, finden wir eine Reihe von Geschlechtern, die am Schluß des Kambrium vollständig aussterben. Im böhmischen Becken fehlen sie freilich, ebenso wie in der kambrischen Fauna von Nordeuropa, aber außerhalb dieser Gebiete sind sie nicht nur gesteinsbildend in ungeheurer Individuenzahl verbreitet, sondern charakterisieren geradezu die kambrische Periode. Die Archäocyathiden treten felsbildend in Skandinavien auf, finden sich in Sibirien und Kanada, und erfüllen in den australischen Gebirgen die Kalksteine; sogar vom antarktischen Kontinent sind sie bekannt geworden.

Nicht minder wichtig sind die in Schottland zuerst gefundenen Salterellen, die auch in Nordaustralien gesteinsbildend auftreten.

Auch die durch Walcott entdeckten gegliederten Würmer und hochdifferenzierten Arthropoden des kanadischen Kambrium bilden so eigenartige Gruppen, daß ihnen die ganze geologische Folgezeit nichts ähnliches an die Seite setzen kann.

Mit ihnen lebten aber schon manche Formen, die sich, wenn auch als abweichende Gattungen, leicht den Typen einordnen lassen, die seit dem Untersilur bis zur Gegenwart leben.

Im oberen Kambrium von Nordamerika fand man die gewundene Schneckenschale von Holopea, die auffallend an Süßwasserformen erinnert. Von den seit dem Silur so ungemein häufigen Cephalopoden kennt man nur die kleine Gattung Volborthella.

Die Brachiopoden waren ziemlich reich an Gattungen und Arten. Kutorgina, Orthis, Orthisina, Billingsella, Camarella, Acrothele und Linnarsonia treten in glatten, wie in schön gerippten, ja sogar mit Stacheln verzierten Arten auf. Es ist überaus seltsam, daß zwei jetzt noch lebende Familien, Lingula und Discina, seit dem Kambrium bis zur Gegenwart mit kaum veränderten Formen leben.

Von benthonischen Tieren sind eine Anzahl Seeschwämme zu nennen, die mit ihren eleganten Kieselnadeln prächtig erhalten sind. Sie gehören den jetzt noch lebenden Familien der vier- und sechsstrahligen Spongien an, aber ihre Nadeln liegen noch unverbunden im Gewebe, erst im Silur treten Formen auf, deren Nadeln zu einem festen Skelett verschränkt sind.

Der Stamm der Echinodermen ist vertreten durch zahlreiche Gattungen der Cystoideen. Krebspanzer-ähnliche Hüllen zeigen ein zierliches Tafelwerk von Kalkplatten, deren Gefüge interessante Rückschlüsse auf ihren inneren Bau gestattet. Die Gattung Macrocystella verdient als die älteste primitive Seelilie ganz besonderes Interesse.

Wenn man aber erwägt, daß die Wurzeln der kambrischen Fauna in die algonkischen Gesteine eindringen, daß ununterbrochene Entwickelungslinien vom Kambrium bis in die jüngste Gegenwart emporsteigen, wenn man besonders im Auge behält, daß die untere Grenze der Fossilführung in ganz verschiedenen Horizonten liegt und nachträglich durch Metamorphose entstanden ist, dann sehen wir in der kambrischen Tierwelt nicht die Anfänge des Lebens, sondern nur die ältesten, uns überlieferten paläontologischen Dokumente.

Die Forderung vorkambrischer Ahnen der kambrischen Lebensformen wird uns besonders nahegelegt, wenn wir die ältesten Trilobiten betrachten: Ellipsocephalus Germari in Böhmen, Olenellus Mickwitzi in Rußland, O. Kjerulfi in Schweden, Conocoryphe viola und O. Lapworthi in England, ebenso wie Microdiscus Helena und O. Bröggeri sind so hoch differenziert, unterscheiden sich in so wesentlichen Charakteren und zeigen so grundverschiedene Larvenformen, daß man lange Zeiträume annehmen muß, innerhalb deren sie sich entwickeln konnten. Wenn wir erwägen, daß eine Anzahl kambrischer Trilobiten augenlos sind, dann verlangt auch diese Tatsache eine Vorgeschichte.

Wenn wir die kambrische Tierwelt, wie sie durch die neuesten Arbeiten zu einem Gesamtbild zusammengefügt wurde, als Ganzes betrachten, so erkennen wir zuerst die faunistische Einheit des kambrischen Weltmeeres. Einzelne, wohl unterscheidbare Faunenbezirke haben doch idente Gattungen oder gar Arten gemeinsam, und die durch tektonische Bewegungen zerrissenen oder durch Überlagerung jüngerer Schichten getrennten einzelnen Profile ordnen sich zu geschlossenen Faunenkreisen.

Das europäische Kambrium stimmt so sehr mit dem aus dem Osten der Vereinigten Staaten überein, daß man beide Gebiete zu einem atlantischen Ozean verknüpfen muß. Zwar wird der im Westen desselben häufige Olenellus nach Osten seltener und in der folgenden Stufe ist Paradoxides mehr auf der Ostseite verbreitet, aber die gesamte Fauna zeigt die größte Ähnlichkeit. Olenellus Kjerulfi, Linnarsonia sagittalis und Kutorgina cingulata kommen sogar mit identen Arten auf beiden Ufern des Atlantik vor. Böhmische Arten, wie Conocephalites coronatus und C. Sulzeri, finden wir auch in Nordspanien.

Einzelne kambrische Brachiopoden drangen in Lagunen und Binnenseen hinein, um hier zu Millionen den Grund zu beleben. Die baltischen Ungulitensandsteine sind erfüllt mit den hornigen Schalen von Obolus Apollinis, die schottischen „Lingulaflags" mit Lingulella Davisii, die nord-

amerikanischen Potsdamsandsteine mit Lingularis antiqua und Lingulella prima, die Roteisenstufe von Böhmen mit Lingula lamellosa.

Im nordamerikanischen Kambrium trennte eine teilweise landfeste Bodenschwelle die Fauna der atlantischen Küstengebiete von derjenigen der Felsengebirge im Westen. In beiden Becken sind mächtige Sedimente gebildet worden, während dazwischen unteres und mittleres Kambrium fehlen und selbst das Oberkambrium nicht alles Land zu überfluten vermochte. Aber diese trennende Landmauer, welche Nordamerika in meridionaler Richtung durchzog und die selbst in untersilurischer Zeit bestand, vermochte nicht ganz den Austausch der Faunen zu hindern, und so finden wir sieben von 150 Arten in beiden Meeren.

Demgegenüber erblicken wir in der Fauna des baltisch-schwedischen Kambrium die artenarme, aber individuenreiche Tierwelt eines durch veränderten Salzgehalt verarmten Nebenmeeres.

Das Kambrium von China und Korea hat große Ähnlichkeit mit dem Westen Nordamerikas. Dorypyge ist hier ein bezeichnendes Leitfossil. Es scheint, daß beide Regionen durch einen pazifischen Ozean verbunden wurden.

Endlich finden wir in Nordindien eine charakteristische Fauna, die es rechtfertigt, wenn man auch von einem indischen Ozean spricht.

Alle diese Tatsachen zeigen uns, daß die Tierwelt jenes ältesten bekannten Meeres von ähnlichen tiergeographischen Gesetzen beherrscht wurde, wie wir dies in der Gegenwart beobachten. Neben kosmopolitischen Formen, wie den Olenelliden, die über ungeheure Strecken verbreitet waren und die Einheit des Weltmeeres belegen, gibt es einzelne Gattungen und Arten, wie die mit mächtigen Wangenstacheln bewehrten Paradoxiden, welche zwar einen Atlantischen Ozean bevölkerten, aber nicht imstande waren, in den Stillen Ozean hineinzudringen. Andere Arten, wie die baltische Mickwitzia, kommen nur in einem engumschriebenen Bezirke vor.

Die drei großen Ozeane der Gegenwart, Atlantik, Pazifik und Indik, jetzt zu weiten, tiefen Wannen geworden, waren zu jener Zeit nur flache Depressionen der Erdrinde, aber sie unterschieden sich schon durch die Zusammensetzung ihrer Faunen.

Auch diese Tatsachen lehren uns, daß die kambrische Tierwelt durch lange Zeiträume von dem Augenblick getrennt ist, wo das Leben auf der Erdrinde entstand.

Indem wir zurückschauend jene ins Auge fassen, ist es uns, als wenn der Vorhang der Weltgeschichte erst im dritten Akt des großen biologischen Dramas emporrollte; wir sehen vor uns eine überraschend hochentwickelte Tierwelt: die einen Formen aufstrebend und in der folgenden Silurzeit zum Gipfel ihrer Entwicklung emporsteigend, oder mit geringerer, aber nur wenig veränderter Lebenskraft durch die lange

Reihe der folgenden Perioden hindurchschreitend. Andere Gruppen dagegen sind auf die kambrische Zeit beschränkt, in dem Sinne, daß sie nach einem langen vorkambrischen Leben jetzt dem sicheren Tode verfallen. Verwandte Arten leben in scharf umrissenen Meeresprovinzen, wandern langsam von einem Gebiete in das andere und treten hier in eine fremdartige Fauna ein, um darin unterzugehen oder in mächtigem Aufschwunge die Führung zu übernehmen. Mutig dringen genügsame Formen in die weiten Buchten hinein, die bei der Transgression des kambrischen Meeres in dem nordischen Festlande überflutet werden. Hier fanden sie keine Feinde; ihrer Vermehrung waren keine Schranken gesetzt und so treten ihre Panzer gesteinsbildend auf.

Man hat auf Grund der in Böhmen fehlenden kalkschaligen und kieselschaligen Formenkreise den Schluß gezogen, daß das kambrische Meer kalkfrei gewesen sei — aber in anderen Ländern sind nichthornige Skelette in reicher Fülle verbreitet. Und wenn wir den präkambrischen Birikalk genauer untersuchen und in ihm keine einzige geformte Kalkschale, aber klare Beweise für eine chemische Abscheidung dieses 50 m mächtigen und über eine riesige Fläche verbreiteten Gesteins finden, müssen wir zugeben, daß es damals schon Wasserbecken mit einem Überschuß von gelöstem Kalk gegeben habe.

Wir schließen daraus, daß in dem uralten Wüstenland riesige Wasserbecken (Urseen) von verschiedenem Salzgehalt existierten, die den darin lebenden Organismen bald den einen, bald den andern Stoff in solcher Menge boten, daß sie sich daraus chemisch gleichartige Hartgebilde erzeugten.

Es bedarf noch der Prüfung, inwieweit die kambrische Wasserwelt nach universell geltenden Gesetzen durch verschiedene, allgemein verbreitete Leitfossilen ausgezeichnet ist. Man könnte aus vielen Schichtenfolgen schließen, daß der Gang des Artwechsels in den einzelnen Meerbecken des Kambrium ein verschiedener gewesen sei.

Als dann mit Beginn des Kambrium diese Urseen zum allgemeinen Weltmeere zusammenflossen, die Lösungen der Einzelbecken sich darin mischten und mit ihnen auch deren Sonderfaunen in demselben Meer zu leben gezwungen wurden, muß durch die Vermischung ganz wesensfremder Synusien eine einzigartige und in der ganzen Folgezeit niemals wieder mögliche Konkurrenz entstanden sein, die zur Ausschaltung lebensschwächerer, zur Umwandlung bildungsfähiger, und zur Entstehung völlig neuer Formenkreise führte.

Mit dem Untersilur, das man wegen seines neuen Lebensinhalts als Ordovizium besonders unterscheidet, beginnt die Altzeit der Erdgeschichte, die in vieler Hinsicht der heutigen Lebewelt nahe verwandt ist. Denn seither lebt in einem niemals wieder zerschnittenen, einheitlichen Weltmeere von einheitlicher chemischer Zusammensetzung

seines Lösungsgehaltes eine, durch räumliche und zeitliche Übergänge verknüpfte Wasserwelt. Alle rezenten Tierstämme sind im Silurmeer vertreten; ihre Formen sind leicht in Arten und Gattungen zu trennen, sie bilden von der Fazies des Bodens bestimmt, mannigfaltige Synusien, lassen tiergeographische Gebiete unterscheiden und verwandeln sich durch langsameren oder rascheren substituierenden Formentausch nach einheitlichen Gesetzen, in die für die

3. Silur-, 4. Devon-, 5. Karbon-, 6. Permperiode

charakteristische Lebewelt.

Die Einheitlichkeit des Silurmeeres in Zeit und Raum wird besonders durch die Graptolithen bezeichnet. Denn mit dem Ordovizium beginnt jener eigenartige Rhythmus der Artwechsel im Weltmeer, der so allgemein verbreitet ist, daß selbst die Einzelgliederung isopischer Schichtenfolgen durch aufeinanderfolgende verschiedene Arten leicht überall durchgeführt werden konnte. Die Graptolithenhorizonte des Silur, die Goniatitenhorizonte des Devon und des marinen Karbon, selbst die Productiden und Fusuliniden des Perm bieten bekannte gute Leitformen.

Zahlreiche Profile lassen erkennen, daß die Gewässer des Silurmeeres weiten Flächen des vorausgegangenen kambrischen Ozeans entsprechen.

Man sollte meinen, daß diese lithologischen Übergänge auch einer kaum merklichen Veränderung der marinen Tierwelt entsprächen, und doch bedeutet der Beginn der Silurzeit eine vollkommen neue Epoche der Erdgeschichte. Mit einem Formenreichtum, der von keiner der folgenden Epochen erreicht wird, blüht die Fauna des Meeres auf, und wenn wir aus der Gegenwart auch mehr Gattungen und Arten kennen, so ist doch der Reichtum an Typen mariner Tiere in der Silurzeit unvergleichlich größer.

Die untere Silurzeit wird damit zu der biologisch wichtigsten Epoche der ganzen Erdgeschichte, denn alle späteren Änderungen der marinen Organismenwelt sind nur Variationen zu den hier zuerst festgelegten Leitmotiven.

Mit der Obersilurzeit tritt ein schwarzer Schiefer von 50 m Mächtigkeit auf, der sich durch ungewöhnlichen Reichtum an Graptolithen auszeichnet. Gleichzeitig brechen Diabasvulkane hervor und überschütten den Meeresgrund mit ihren Aschen. Wo kalkabscheidende Tiere in Menge gediehen, entstanden sehr fossilreiche Kalksteine von dunkelgrauer Farbe. Krinoidenkalk, Cephalopodenkalk, Brachiopodenkalk treten nebeneinander auf, und Barrande hat in ihnen 357 Orthocerasarten, 267 Cyrtoceras, 81 Trilobiten, 767 Muscheln und 293 Brachiopodenarten unterscheiden können.

Von den Trilobitengattungen des Kambrium sterben 35 mit Abschluß dieser Periode aus und nur 7 (meist schlammbewohnende) Agnostus

retten sich in das Untersilur hinüber. Auch die Protopharetra und Archaeocyathus überschreiten nicht die Silurgrenze.

Zwölf Gattungen von Seesternen, sowie vereinzelte Funde von Seeigeln beweisen, daß diese Gruppen schon vorhanden waren.

Die silurischen Muscheln gehören keineswegs alle zu den einfach gebauten Palaeoconchae (Urmuscheln). Vielmehr gewinnen schon zahlreiche andere Gruppen (Taxodonten, Heterodonten und Desmodonten) eine große Bedeutung. Eine seltsame Eigenart mancher silurischen Muscheln ist es, daß nicht beide Wirbel der Schale nach vorn gebogen, sondern der eine nach vorn, der andre nach hinten, einander zugekehrt sind. Das Auftreten sehr dünnschaliger, artenarmer, aber individuenreicher Muschelformen spricht dafür, daß manche Formen in brackischen Buchten gediehen.

Auch die Schneckenfauna des Silur hat sehr bemerkenswerte Eigenheiten. Die große Mehrzahl der mehr als 26000 beschriebenen Schneckenarten zeigt ein nach rechts gewundenes Gehäuse. Die wenigen linksgewundenen Gattungen und vereinzelte abnorm gewundene Individuen lassen sich zählen. Rechtsgedrehte Formen treten zwar schon im Silur auf, aber neben ihnen sind die völlig symmetrisch gebauten Schneckenschalen von Bellerophon für die Altzeit bezeichnend.

Die mit der Spitze am Meeresgrunde festgewachsene Schnecken-Gattung Antodetus zeigt, wie weit schon im Silur die Anpassung einzelner Formen ging.

Allein neben den bisher besprochenen Tiergruppen ist das Aufblühen der schalentragenden Cephalopoden eine ganz besonders hervorstechende Tatsache.

Mit Beginn des Silur schwärmen ungeheure Scharen von kleinen und großen kalkschaligen Cephalopoden durch alle Meere. Mehr als

850	Arten	von	Orthoceras,
96	„	„	Gomphoceras,
14	„	„	Ascoceras,
370	„	„	Cyrtoceras,
51	„	„	Phragmoceras,
15	„	„	Gyroceras,
64	„	„	Trochoceras

sind aus den Silurschichten beschrieben worden. Ihre Schalen sind meist glatt und völlig kreisrund gebaut, man kann daher auf eine starke aktive Beweglichkeit schließen. Die ältesten, scheibenförmig aufgerollten Schalen treffen wir bei Lituites, Ophidioceras, Clinoceras, Trochilites und Nautilus.

Es ist auffallend, daß die so primitiv gebaute, stabförmige Gattung Orthoceras alle davon abgeleiteten Gattungen überdauert und erst in der alpinen Trias ausstirbt; ebenso wie Nautilus, der den Stammformen der Ammoniten so nahe steht, vom Silur bis zur Gegenwart durch die

ganze Erdgeschichte hindurch reicht, obwohl in der Zwischenzeit so zahllose Geschlechter scheibenförmiger Cephalopoden aussterben.

Wir begegnen hier der öfters wiederkehrenden Tatsache, daß Stammformen ein längeres Leben haben, als die sich von ihnen abzweigenden Formenkreise.

Eine merkwürdige Gruppe wird durch Hyolithes und Conularia dargestellt, die in Böhmen, Frankreich, England, Schweden und Nordamerika weitverbreitet, im Devon, Karbon und Perm selten werden, und in der Triasperiode vollkommen aussterben.

Die Blüte der Trilobiten fällt in die Untersilurzeit, wie aus folgender Tabelle leicht ersichtlich ist:

Kambrium	42	Gattungen	und	282	Arten
Untersilur	77	„	„	866	„
Obersilur	31	„	„	482	„
Devon	11	„	„	105	„
Karbon	5	„	„	15	„
Perm	1	„	„	1	nordamerikanische Art

als letzter Vertreter des aussterbenden Geschlechts.

Eine wichtige Rolle spielten die Kolonien der Tabulaten.

Im Silur	lebten	23	Gattungen
„ Devon	„	15	„
„ Karbon	„	6	„

Im Perm von Thüringen und Australien tritt die letzte auf.

Aus dem Stamme der Krebse wären endlich noch die planktonischen Ostrakoden zu nennen. Den vier kambrischen Gattungen stehen 23 silurische gegenüber. Ihre Körperform und Größe (Leperditia wird 22 mm, Callizoe 50 mm, Aristozoe 90 mm groß) zeigt, daß sie im Silur den Höhepunkt der Entwicklung erreichen. Denn im Devon sind nur noch acht Gattungen vorhanden, und die jetzt so weit verbreiteten Formen besitzen in der Regel nur 1—2 mm große Schälchen. Die mit charakteristischen Warzen verzierte Beyrichia entwickelt sich im untersten Silur aus der einfach gebauten Primitia, variiert dann ungemein und erfüllt mit zahlreichen Arten die silurischen Kalksteine Schwedens, die zur Eiszeit über Norddeutschland weit verbreitet wurden.

Die große Fülle der Silurfauna geht am besten daraus hervor, daß allein die Fauna der obersilurischen Riffgebiete von Gotland auf insgesamt 1500 Arten geschätzt wird.

Die allgemeine Entwicklung der Silurfauna durch die folgenden Perioden der Altzeit wird mehr durch das allmähliche Verschwinden altertümlicher Formenkreise, als durch Auftreten neuer Typen bestimmt.

Aber aus der Fülle altzeitlicher Tiergruppen hebt sich schon im Silur ein Stamm heraus, der in der Folgezeit durch die Fülle seiner morphologischen und funktionellen Differenzierung zum unbestrittenen

Herrscher der gesamten Lebewelt wurde, nämlich die Vertebraten. Zwar besaßen die silurischen Fische noch kein inneres Knochenskelett, aber ihre Hautdecke und die Mundhöhle trugen einen dichten Besatz kleiner und schon vielgestaltiger Zähne. Im Untersilur bei St. Petersburg finden sich drei Zahnformen von Palaedodus und eine Art Archodus, die in ihrem mikroskopischen Bau vollkommen der Struktur entsprechen, die wir bei den Mundzähnen höherer Fische jetzt finden. Die faltige Haut von Thelodus und Lanarkia war mit zahlreichen kleinen Verknöcherungen bedeckt und zeigt hinter dem breiten Kopfe einen zweizipfligen, kurzen Schwanz, während Birkenia und Tremataspis durch ihre elegante Fischgestalt, die schmalen Schuppenreihen und die scharfen Zähne der Rückenflosse ein seltsames Gepräge erhalten.

Wenn man die umfassende Übersicht der fossilen und rezenten tierischen Formenkreise, wie sie in den immer neu aufgelegten „Grundzügen der Paläozoologie" von Zittel-Broili-Schlosser dargestellt wird, als Ganzes überblickt und die nahezu gleichwertigen beiden Bände der Evertebraten und Vertebraten vergleicht, so möchte man zunächst denken, daß die Gegenüberstellung und Zweiteilung des gewaltigen Tatsachenmaterials, sei es durch die zufällige Lückenhaftigkeit der geologischen Überlieferung oder durch theoretische Erwägungen, bedingt sei.

Aber wer weiß, mit welcher Sorgfalt bei jeder neuen Auflage alle neu entdeckten Funde und alle neuen phyletischen Erwägungen zur Geltung gekommen sind, der erkennt bald, daß die Zweiteilung der fossilen Tierwelt in Wirbellose und Wirbeltiere auf der viel größeren morphologischen und biologischen Bedeutung des letzteren Stammes gegenüber den 9 wirbellosen Tierstämmen beruht.

Tatsächlich steht die erdgeschichtliche Wichtigkeit dieses einen Tierstammes so hoch über der Bedeutung jedes einzelnen der übrigen Stämme, daß wir trotz der viel ungünstigeren Möglichkeit ihrer Erhaltung die Wirbeltiere allen anderen Tieren als die biologische Herrenwelt gegenüberstellen müssen.

Die Ursachen hierfür liegen in ihrer eigenartigen Organisation wohl begründet: Im Gegensatz zu den noch lebenden Verwandten, den Leptocardii, den festgewachsenen Chordaten und Aszidien und den parasitischen Cyclostomen, sind alle „Wirbeltiere" durch eine elastische oder gelenkige Wirbelsäule ausgezeichnet, die durch ihr Neurapophysen und die äquivalente Schädelkapsel dem ihr parallel gelegenen Haupt-Nervensystem Schutz und Selbständigkeit gewährt. Der zum Kopf umgewandelte Vorderteil ist durch paarige Sinnesorgane ausgezeichnet, und im Zusammenhang damit entwickeln sich Apparate für eine sehr differenzierte Nahrungsaufnahme. Frei beweglich, sind sie meist Bewohner des offenen Wassers, zu weiten Wanderungen wohl befähigt; alle Teile der Hydrosphäre dienen ihnen zum Lebensraum. Weder die Konzentration der Salzlösung noch

ihre spezifische Zusammensetzung setzt ihren Wanderungen eine Schranke, und eine vielgestaltige Ernährung führt sie ebenso in die Flüsse, wie in die dunklen Abgründe der Tiefsee.

Indem wir uns hier auf die Wirbeltiere beschränken, die man als „Fische“ bezeichnet, so fallen zunächst einige in das Süßwasser eindringende oder ganz darin lebende Formen (Pleuracanthus, Cladodus, Acanthodes, Diplacanthus) ebenso wie die binnenländisch gewordenen Placodermata, Dipnoi und Arthrodira außerhalb dieser Betrachtung. Nur die Gruppen der Selachii, Ganoidei und Teleostei mit den von ihnen abzuleitenden Nebenzweigen bleiben die charakteristischen Beherrscher des Meeres. Auch sie sind dem Gesetz des beständigen irreversiblen Artwechsels unterworfen, aber ihre eigenartige höhere Organisation macht sie zu den dominierenden Formen jeder geologischen Periode.

Die Selachier, die das Meer vom Silur bis zur Gegenwart beleben, erreichen den Höhepunkt ihrer Bedeutung im Karbon. Denn die in älteren Schichten in der Regel nur in vereinzelten Zähnchen, Flossenstacheln oder Hautknochen nachweisbaren Formen erfüllen mit mehr als 300 Arten die karbonischen Schichten.

Zwar treten die rezenten echten Haie und Rochen erst im oberen Jura auf, aber die Familien der Hypodonten, Cochliodonten und anderer Gruppen finden sich in 60 Gattungen mit zahlreichen Arten verbreitet. Die meist gut erhaltenen Zähne sprechen für eine räuberische Lebensweise. Die einen konnten mit scharfem Messerzahn leicht jeden Feind zerschneidên, andere hatten ein spitzenreiches Gebiß, um vorbeieilende Beutetiere festzuhalten. Breite Zahnpflaster waren wohl geeignet, um auch dickschalige Muscheln, Schnecken, Brachiopoden, Krebse und Goniatiten zu zerknacken und feilenartige Zahnreihen dienten dazu, um festsitzende Tierkolonien anzunagen. Auch ihre bisweilen trefflich erhaltene Körpergestalt läßt auf eine überaus vielseitige Lebensweise schließen.

Es ist sehr auffallend, daß unter den kambrischen, silurischen und devonischen Meerestieren so wenig „Raubtiere“ bekannt sind. Man sollte meinen, daß die bis 75 cm groß werdenden Trilobiten, die meterlangen Riesenkrebse oder die gepanzerten Fische als kühne Räuber zwischen der übrigen Fauna hausten. Allein wenn wir uns daraufhin ihre Füße und Mundwerkzeuge ansehen, so fehlen kräftige Fangorgane, ebenso wie schneidende, scharfe Zähne. Pterygotus kann mit seiner zierlichen Schere auf langem, dünnem Stiel sich höchstens den Rückenpanzer von anhaftenden Polypen oder Algen gereinigt haben, und der Klumpfuß von Eurypterus sieht gefährlicher aus, als er bei genauerer Betrachtung erscheint. Geradezu seltsam ist es, daß bei keinem Triboliten schneidende Kieferränder bekannt sind, so daß diese oft sehr großen Tiere auf pflanzliche Nahrung oder moderigen Schlamm angewiesen waren. So sieht man ein, daß in jenen Ur-Zeiten der „Kampf ums Dasein“ seinen Namen nicht

recht verdiente und daß die Selektion mehr durch Zeugungsfähigkeit, Zuchtwahl und den Wechsel der Lebensbedingungen bestimmt wurde.

Jetzt drang die rasch bewegliche Selachierfauna in alle Winkel des karbonischen Meeres ein und die reichlich vorhandene Nahrung bot ihnen die Mittel zu gesteigerter Vermehrung. Einer so vielgestaltigen Formenwelt von Piraten konnte die bisher noch keinem ähnlich bewehrten Feind ausgesetzte Wasserwelt nur geringen Widerstand leisten.

Sie vernichteten alle ungeschützten Formen. Dadurch entstand eine sehr lebhafte Auslese und die bionomischen Beziehungen der Uberlebenden änderten sich beständig. Die großen Einzelkorallen, in deren Kelch die fleischige Sarkode ein leicht erreichbares Futter bot, wurden bald vertilgt, und dafür blühten die stockbildenden Formen auf, bei welchen das Individuum nur von geringer Größe, aber in dichten, zackigen Büschen zusammengedrängt, besser geschützt war. Die Tabulaten mit ihren langen, zarten Kalkröhren verschwanden bis auf Chätetes, deren dichtgedrängte Röhren dünn wie eine Nadel sind. Zahlreiche Muschel- und Brachiopodengeschlechter mit dünner Schale starben aus, und nur die Spiriferiden, deren Schalenhohlraum von den feinen Spiralkegeln des Armgerüstes fast erfüllt wurden, so daß in der zerknackten Schale zahlreiche, spitze Bruchstücke das Fleisch ungenießbar machten, blieben vor den Angriffen geschützt; auch Productus war durch seine stachelbesetzte Schale gesichert. Daß mit den Cystoideen zahlreiche Geschlechter von Seelilien vergingen, ist eben so verständlich, wie das Auftreten von großen, dickschaligen oder durch krätige, lange Stacheln bewehrten Seeigeln. Die mit Leisten und Rippen verzierten Orthocerasschalen zeigen vielfach Anpassungserscheinungen an die neu auftretenden Feinde und das Verschwinden der letzten Trilobiten aus dem Meere, ihr Eindringen in brackische und süße Gewässer hängt offenbar mit derselben Ursache zusammen.

So verwandelte sich die Fauna Schritt für Schritt, und neue Geschlechter, besser geschützt und angepaßt an die neuen Verhältnisse, gewannen immer größere Bedeutung. In dieser Hinsicht müssen wir besonders auf die Ammoniten verweisen, deren meist glatte und eingerollte Schalen durch enggefaltete Scheidewände gefestigt waren. Auffallend ist es, wie selten verletzte und wieder ausgeheilte Ammonitenschalen gefunden werden — ein sprechender Beweis dafür, wie widerstandsfähig die dünne Schale durch die Falten der Suturlinie geworden war.

Aber die geschilderten biologischen Umstände würden die großen Umgestaltungen der marinen Fauna am Schluß der Altzeit gegen die Mittelzeit nicht vollständig erklären, wenn nicht ein allgemeiner verbreitetes Ereignis diese Anastrophe des Lebens beschleunigt hätte.

Im Oberkarbon von Ostindien, Südafrika, Australien und Brasilien treten ungeheure Moränendecken auf, die auch während der folgenden

Unterpermzeit mit marinen Gesteinen wechsellagern. Sie entstanden aus Eisdecken, die sich bis an die Meeresküste vorschoben und hier kalbten. Die dadurch bedingte Abkühlung der polaren Meere mußte notwendig einen stärkeren und lebhafteren Austausch der Gewässer des Weltmeeres und damit eine stärkere Ernährung ihrer Faunen in allen Tiefen bedingen.

Daß diese fördernde Wirkung der permokarbonischen Schneezeit nicht sofort eintrat, sondern sich erst nach einer gewissen Zeitspanne, also mit Eintritt der Triasperiode, voll auswirkte, ist leicht verständlich.

Wir müssen es uns versagen, die faunistischen Veränderungen in der Mittelzeit während der Formationen von Trias, Jura und Kreide zu schildern. Aber im allgemeinen sehen wir im marinen Tierleben nur ein beständiges Auswechseln einer Art und einer Gattung gegen die andere, sehen die substitutive Umgestaltung der Synusien, jedoch in dem großen Wandelbild entsteht eigentlich nichts grundsätzlich Neues.

Die Nebenformen der Ammoniten weichen nur in der äußeren Windung der Schale, nicht in ihrer Lobenlinie von den altgewohnten Regeln der Vererbung ab. Die merkwürdige Anpassung an den Standort, wie sie die euryhalinen Inoceramen und die sessilen Rudisten ausbildeten, wie sie Coeloptychium, Saccocoma und Marsupites zeigen, lassen keine grundsätzliche Formveränderung der Körperfunktionen erkennen.

Aber aus dem Stamm der Vertebraten, die schon an der Wende der Altzeit durch ihre Raubtiergebisse eine so tiefgreifende Umgestaltung der gesamten Wasserwelt hervorgerufen hatten, blühte am Schluß der Mittelzeit abermals ein neuer Zweig hervor, der zu einer grundsätzlichen Veränderung der marinen und bionomischen Lebewelt führte.

Langsam verschwinden die bis dahin allgemein verbreiteten Ganoiden und werden schrittweise durch die Knochenfische ersetzt.

Unter der so wundervoll erhaltenen Fischfauna von Solnhofen sind 50 Gattungen und 150 Arten von Ganoiden, aber nur zwei Knochenfische zu finden. Der kleine Leptolepis lebte schon damals in Schwärmen, und bei Langenaltheim liegen die kleinen „Goldfischli" immer, Kopf an Kopf, paarweise zusammen. Der größere Thrissopis kommt nur vereinzelt vor.

Während der Kreidezeit werden die Ganoiden immer seltener und die Teleostier ungemein zahlreich. Von den 40 rezenten Familien sind schon 16 im Kreidemeer vertreten, und mit dem Beginn der Tertiärzeit wächst ihre Zahl beständig.

Dieses Neuauftreten der Knochenfische mußte einen überaus merkwürdigen Einfluß auf die gesamte vorher lebende Wasserwelt gewinnen.

Alle Eier, Larven und Jugendformen der benthonischen oder nektonischen Tiere schweben eine Zeitlang planktonisch im Meere, bilden monotone oder gemischte Schwärme und erfüllen mit ihrem glashellen Körper das blaue Wasser.

Wenn nun Millionen von planktonfressenden Fischen in großen Schwärmen Kopf an Kopf gedrängt, beständig das Meer durchziehen und unaufhaltsam das planktonreiche Wasser durchsieben, dann muß eine überaus intensive Auslese der gesammten Meereswelt die Folge sein. Alle planktonisch ausschwärmenden Formen wurden allmählich vernichtet, und andere Tiergruppen blieben erhalten. Das Aussterben der Ammoniten und Belemniten, der Rudisten und Inozeramen, sowie vieler Echinodermen-, Brachiopoden- und Anthozoengattungen hängt unserer Ansicht nach mit dieser Zunahme der Knochenfische zusammen.

Wenn wir außerdem bedenken, daß eine antinome Klimaperiode die Kreidezeit von dem Tertiär unterscheidet, daß hierdurch eine wesentliche Veränderung des Salzgehaltes im Meere bedingt war, so können wir wohl verstehen, weshalb man in der stratigraphischen Systematik den Übergang der Mittelzeit zur Neuzeit gerade in diese Wende verlegt hat.

So wird die Lebewelt des Meeres vom Untersilur bis zur Gegenwart in gleichmäßigem Schritt neuauftretender Arten beständig verwandelt. Die Lebenskurve der meisten Wassertiere bewegt sich in regelmäßigem Rhythmus, nur unterbrochen durch die beiden Zeitwenden am Ende der Altzeit und der Mittelzeit, wo zahlreiche ältere Geschlechter aussterben, um neuen Synusien Platz zu machen.

Die Gegensätze einer paläozoischen Altzeit, einer mesozoischen Mittelzeit und einer känozoischen Neuzeit sind also nicht didaktische Versuche, um gleichmäßig fortlaufende Vorgänge zu sondern, sie entsprechen vielmehr der allgemein bestätigten Erfahrung, daß an der Wende dieser Zeiten ein allgemeiner Wechsel in der systematischen Zusammensetzung der marinen Synusien erfolgt ist.

Dieser chronologische Synusienwechsel erfolgt nicht plötzlich, selbst wenn gleichzeitige Transgressionen oder Dislokationen ihn in manchem Profil verschärfen. Er besteht auch nicht nur in einem Sterben älterer Formenkreise, sondern zugleich treten überall neue Typen auf, die nur durch Artenwechsel aus älteren Ahnenformen entstanden sein können. O. Heer hat das Wort „Umprägung“ formuliert, um diese, jedem Geologen wohl vertraute Tatsache zu kennzeichnen. Denn die Kontinuität des Lebens ist auch in einer solchen Anastrophe überall zu erkennen.

Um diesen tiefgreifenden Formenwechsel an der Zeitgrenze der geologischen Zeitalter zu erklären, kann man nicht an allgemeine ozeanographische Veränderungen der Grenzen oder Tiefen des Weltmeers denken. Denn die marine Fauna findet in jeder Epoche, bald hier bald dort, die ihr zusagenden Standorte. Es kann nur eine kurzfristige Veränderung der lebensnotwendigen Bedingungen der Wasseratmer sein, die einen so tiefgreifenden und allgemeinen Formenwechsel hervorrufen konnte. Man könnte an eine gesteigerte „Vulkanperiode“ als Ursache solcher Umgestaltungen ganzer Synusien denken, wenn nicht die vulkani-

schen Exhalationen so lange Zeiträume hindurch andauerten und auch nach der Massenförderung von Laven und Aschentuffen ebenso wirksam wären, wie während derselben. Gerade um die Wende der Mittelzeit und Neuzeit vermissen wir die großen vulkanischen Eruptionen. Es scheint uns daher dieser Vorgang nicht ausreichend, um eine so rasche und allgemeine Umgestaltung der marinen Synusien, wie sie tatsächlich eingetreten ist, ursächlich erklären zu können.

Wir sind vielmehr der Ansicht, daß die permische ebenso wie die erst neuerdings entdeckte oberkretazische Schneezeit hierbei eine wichtigere Rolle gespielt hat. Die Wirkungen einer solchen Klimaperiode auf den gesamten Wasserhaushalt der Erde, auf die Bewegungen der Atmosphäre und der Hydrosphäre, auf den Austausch der Salzlösungen im Meer und auf den Sauerstoffgehalt seiner tiefen Wasserschichten erscheinen uns so bedeutsam, daß wir das antinome Klima für eine wesentliche Ursache raschen Formenwechsels halten. Aber damit sind wir wieder bei den Sonnenstrahlen angekommen.

Alle Lebensvorgänge hängen letzten Endes von den Strahlen der Sonne ab und ihre Wärmestrahlen sind für die Wasseratmer deshalb von grundlegender Bedeutung, weil nacktes Protoplasma bei niederen Temperaturen erstarrt. Die Erdwärme würde niemals imstande sein, das Meer über dem Gefrierpunkt zu halten — nur die von oben eindringenden Sonnenstrahlen schmelzen die winterlichen Eisdecken der Polarmeere und die Eisberge kalbender Gletscher.

Aber nur eine schwache Oberschicht des Ozeanwassers wird von der Sonne so erwärmt, daß klimatische Zonen entstehen. Schon in 300 m Tiefe wird die Sonnenwärme zum größeren Teil absorbiert, und es beginnt die kalte Tiefsee. So projiziert sich auch das warme Wasser der Oberschicht nur auf die Flächen des Strandes und der Flachsee, und die von solchen Wärmezonen abhängigen Wasserorganismen sind nicht nach Breitengraden verteilt, sondern in schmalen oder breitern Streifen parallel der Küste.

Da die meisten Wasseratmer stenotherm sind, und ihre Lebensenergie weniger von der absoluten Höhe der Temperatur, wie von ihrer Konstanz abhängt, sind die gleichmäßig kalten Gewässer der Polarmeere ebenso mit Leben erfüllt, wie die gleichmäßig warmen Meere der Tropen — nur die Meere der von den Jahreszeiten stärker beeinflußten „gemäßigten" Zone sind im allgemeinen tierärmer.

Eine antinome Klimaperiode mit polaren Eisdecken und tropischen Lateritdecken muß naturgemäß auch die Temperatur und alle damit zusammenhängenden Vorgänge in der Hydrosphäre beeinflussen. Höhere Verdunstung auf dem Meere, stärkere Niederschläge in flüssiger oder fester Form, größere Erosion und Exaration, stärkere Verwitterung und intensivere Lösung auf dem Festlande, ändern schließlich die Zusammensetzung

des Seewassers. Stärkere Klimakontraste bedingen außerdem heftigere Stürme, mächtigere Meeresströmungen und eine reichlichere Versorgung der tieferen Wasserschichten mit Sauerstoff und organischer Nahrung.

So werden in der Hydrosphäre vom Weltmeer bis zu den Quelloasen, den Flüssen, Schaltseen und Endseen überall neue Anregungen für eine Umgestaltung der Lebewelt gegeben und allgemeine Anastrophen prägen sich als Faunenwechsel in der Schichtenfolge aus.

Aber bei der Untrennbarkeit der Hydrosphäre wirken sich alle diese Vorgänge gleichzeitig in demselben Sinne aus, und nur die Zeit regelt ihre Wirkungen, während der faziell gegliederte Boden der Hydrosphäre räumlich keine entscheidende Rolle spielt.

Neben den Wärmestrahlen sind aber die Lichtstrahlen der Sonne von entscheidender Bedeutung für die Wasserwelt. Sehen wir doch, wie nur das Sonnenlicht autotrophes Leben im Meere erhält und wie der Ozean nur in der diaphanen Oberschicht unter dem Einfluß des Sonnenlichtes zur Heimat des irdischen Lebens werden konnte. Alle Phantasien über ein Wandern von Lebenskeimen von einem Weltkörper zum andern, fallen in nichts zusammen, wenn man die Bedingungen des organischen Stoffwechsels kennt und berücksichtigt.

Obwohl die Lichtstrahlen im Gebiet gleicher Breite mit gleicher Intensität auf die Erde und ihre Hydrosphäre fallen, so verändert sich doch ihre Stärke zunächst innerhalb der Atmosphäre und dann nochmals in viel größerem Ausmaß beim Eindringen in das Wasser. So entstehen Zonen verminderter Lichtstärke mit jedem Meter unter dem Wasserspiegel und die Wasserwelt hat in Reaktion mit diesen verschiedenen Lichtmengen ihrer Umgebung ganz verschiedene Einrichtungen und Organe erworben, die den Lichtreiz aufnehmen und die Lichtstrahlen innerhalb der Gewebe als Kraftquelle ausnutzen.

Der allgemein verbreitete Lichtsinn vieler (oder aller?) Wasseratmer ist zwar in seinen Wirkungen oft geprüft worden, allein die dafür angewandten Ausdrücke „Heliotropismus“ oder „Phototaxis“ erklären diese Erscheinungen keineswegs. Jede Art läßt ein Maximum, Optimum und Minimum der für ihr Leben notwendigen Lichtmenge erkennen, und so werden die Standorte aller autotrophen Wesen von der Verteilung des Lichtes geregelt und umgrenzt.

Auch ein Einfluß der Lichtmenge auf die Entwicklung der Tiere läßt sich experimentell beweisen, und auf längeren Seereisen kann man leicht verfolgen, wie viele Planktonwesen erst mit hereinbrechender Dämmerung an der Meeresoberfläche erscheinen. Ich habe ganze Synusien des tieferen Wassers wochenlang in verdunkelten Aquarien gehalten und beobachtet, wie empfindlich diese Tiere für jede stärkere Lichtquelle sind.

Aber neben diesem lichtempfindlichen Hautsinn beobachten wir noch andere, sehr mannigfaltige Einrichtungen, um Lichtreize aufzunehmen.

In der Haut der Wasserbewohner finden wir verschiedene Farbstoffe, die zum Teil als Exkrete des Stoffwechsels betrachtet werden müssen, da sie für die Assimilation und Bewegung keine Rolle spielen. Ebenso wie am Boden eines Waldes zahlreiche Pilze in leuchtenden Farben erscheinen, die zwar artbeständig vererbt werden, aber keine Bedeutung für die Lebensvorgänge des unterirdischen Myzels haben, so ist auch das Meer mit einem überaus bunten Gewimmel von grellfarbigen oder lebhaft gezeichneten Lebewesen erfüllt, deren Farben zum größten Teil lebensunwichtig sind. Die Farbenpracht eines tropischen Korallenriffes, die bunte Schönheit ozeanischer Krebse und Fische und die leuchtenden Farben vieler Mollusken haben keinen direkten Zweck, denn unter dem Wasserspiegel lebt kein Tier, das diese Farben zu empfinden oder zu unterscheiden vermöchte. Die eingehenden experimentellen Untersuchungen von C. Hess haben unzweifelhaft bewiesen, daß kein echtes Wassertier Farbensinn besitzt, mögen seine Augen noch so groß und zahlreich sein. Selbst die Fische sind total farbenblind obwohl ihr Gesichtsfeld sich über 180° erstreckt. Damit werden auch alle Betrachtungen hinfällig, die man über die selektive Bedeutung der Färbung von Wassertieren angestellt hat, denn die bunten Farben die ein aus dem Wasser gebrachtes marines Tier für unser Auge zeigt, verwandeln sich unter dem Wasser in bloße Helligkeitsunterschiede eines gleichartigen Grau.

Um so wichtiger sind die Farben der marinen Pflanzen und Tiere, die für die Assimilation in Frage kommen, weil sie bei der Ernährung der gesamten Lebewelt der Hydrosphäre von grundlegender Bedeutung sind. Sie bedingen die Urnahrung des Meeres.

Das felsige Ufer des Ozeans wird von einem dichten Behang brauner Tange umgeben, die, wie alle Wasserpflanzen sich nicht durch härtere Stützgewebe, sondern vorwiegend durch lufterfüllte hydrostatisch wirkende Zellräume, Blasen und Gewebelücken über den Boden heben. Die braune Farbe ist durch gelbes Phykoxanthin und grünes Chlorophyll bedingt.

In tieferem Wasser mehren sich die Florideen, deren rotes Gewebe das leuchtende Phykoerythrin mit Chlorophyll enthält, blaugrüne und blaue Algen sind durch Phykozyan ausgezeichnet und die gelben Diatomeen durch Phykoxanthin gefärbt. Reines Chlorophyll enthalten nur einige wenige marine grüne Pflanzenordnungen.

Zu diesen assimilierenden, autotrophen Pflanzen kommen aber noch zahlreiche planktonische und benthonische Organismen, die man nach ihrem Bau zu den Tieren rechnet, obwohl sie in ihren Geweben gelbe oder grüne assimilierende Zellen enthalten und also physiologisch ebenfalls zu den autotrophen Wesen gehören.

Die Frage, ob die Globigerinen, Radiolarien, Aktinien, Korallen und viele Würmer auf die assimilierende Tätigkeit dieser Xanthellen so

angewiesen sind, daß sie ohne organische Nahrung leben können, ist oft geprüft worden, und verschiedene Forscher haben sie in verschiedenem Sinne entschieden. Aber wer diese so ungemein verbreiteten Tiere in ihren Lebensbeziehungen zu ihrer marinen Umwelt untersucht hat, wird nicht daran zweifeln, daß die Ernährung dieser Formen wesentlich durch autotrophe Assimilation erfolgt.

Wir haben wiederholt erörtert, welche grundlegende Bedeutung für die Geschichte des Lebens in der erstmaligen Besiedelung des Festlandes aus den vorher nur unter dem Wasserspiegel lebenden Formenkreisen gegeben war. Und wenn wir zeigen konnten, daß der Wandel der Wasseratmer unter dem irreversiblen Wechsel des marinen Salzgehalts vom Kambrium bis zur Gegenwart in einem Schichtenstoß von 25000 m mit annähernd gleichen Schritten erfolgte, vom Fazieswechsel viel verändert und nur während der großen Schneezeiten in rascherem Tempo vor sich ging — so beginnt mit der Devonzeit eine neue Formenreihe des organischen Lebens.

Das Eindringen von amphibiotisch lebenden Wasserpflanzen durch Ästuarien und Flüsse bis in das Herz der Urwüsten, ihre Absonderung in großen klimatisch bedingten Schaltseen, die wiederholte intensive Auslese der lebenszähen Geschlechter durch das aride Klima, und die Verbreitung auf neuentstehenden Festländern bot der bis dahin unter dem Wasserspiegel lebenden organischen Welt ganz neue Lebensbedingungen und Lebensmöglichkeiten.

Allerdings haben neben den autotrophen Pflanzen nur drei Tierstämme diesen biologisch ebenso wichtigen wie gefährlichen Weg beschritten, und von ihnen haben sich nur die Arthropoden und Wirbeltiere zu wirklichen Landtieren entwickelt. — Aber sie sind dadurch zu einer Blüte gelangt, denen die Wasserwelt keine ähnliche Gruppe an die Seite stellen kann.

Wiederum sind es die Sonnenstrahlen, die unter allen Lebensbedingungen ihre weitere Entwicklung am stärksten beeinflußten; alle topographischen und hydrographischen Elemente des Klimas treten gegenüber den Wärme- und Lichtstrahlen der Sonne in den Hintergrund.

Gegenüber der Mannigfaltigkeit assimilierender Farbstoffe bei den Wasserpflanzen, beginnt bei der festländischen Flora das Chlorophyll immer mehr vorzuherrschen und der eigentliche Chlorophyllträger, das Blatt, wird zum wichtigsten Organ. Daneben entwickelt sich als biologisch neue Einrichtung die Wurzel, welche den Pflanzenkörper im Boden befestigt, und den Mineralstoffwechsel übernimmt. Eine überaus wichtige Neuerwerbung ist die Anpassung an die Schwerkraft. Ihre geheimnisvolle Selbstregulierung treibt die Wurzel, der Schwere folgend, nach unten und hebt, der Gravitation entgegen, Stengel und Stamm der Sonne zu, um deren Licht möglichst auszunützen. Hier ent-

faltet sich das chlorophyll-haltige Blattwerk, spinnt seine Ranken durch jeden freien Raum, und verwertet Licht und Dämmerschein durch vielfältige funktionelle Anpassung.

Die Frage, warum gerade von den verschiedenen assimilierenden Farbstoffen der Wasserpflanzen beim Eindringen in die Atmosphäre über den Wasserspiegel das grüne Chlorophyll übernommen worden ist, weshalb mit anderen Worten, unsere Wälder und Wiesen grün, und nicht braun, gelb oder blaugrün erscheinen, ist von E. Stahl in geistvoller Weise beantwortet worden. Er zeigte, daß die der Kohlenstoffassimilation dienenden Organe der Landpflanzen und der grünen Gewächse seichter Gewässer in ihren Chromatophoren zwei verschiedene Stoffe enthalten, welche die Absorption und Ausnutzung der im diffusen Himmelslicht der Atmosphäre vorherrschenden blauen Strahlen vermitteln. In dem durch das trübe Medium der Luft gegangenen Licht, wo die brechbaren Strahlen stärker zerstreut werden, treten die roten, orangefarbenen und gelben in den Vordergrund. Die Ausnützung dieser Farben vermittelt der blaugrüne Anteil des Chlorophylls, während die Strahlengruppe von Blau bis zum Violett dem ihr komplementären orangegelben Farbstoff übertragen ist.

Die Landpflanze macht sich also diejenigen Strahlen dienstbar, die im diffusen Tageslicht am häufigsten vorhanden sind und das Grün der Pflanze wirkt auf unser Auge um so wohltuender, als wir es am Himmel vermissen.

In viel tiefgreifenderer Weise wie die Wasserwelt werden daneben die Bewohner des Festlandes von dem verfügbaren Lebensraum beherrscht. Ihre Ausbreitung, Entwicklung, Umbildung, Vermischung und Zerlegung erfolgt wesentlich in der Fläche. Eine neuentstehende kleine Insel bietet andere Lebensmöglichkeiten wie ein Archipel, ein ebenes Tiefland andere Bedingungen, wie ein durch lebensfeindliche Hochgebirge zerschnittenes Felsenland. Jede Transgression vermindert die Lebensräume und jede Regression schafft neue Siedelungsflächen. Dann greift das solare Klima bestimmend ein und regelt die Wanderwege der Pflanzensamen und die Wanderzüge der nahrungssuchenden Tiere.

So kann eine Glossopteris-Flora mit allen von ihr lebenden Stegocephalen auf bestimmte Landflächen beschränkt bleiben, während auf anderen gleichzeitigen Festländern schon Cycadeen und Nadelhölzer gedeihen. Isolierung und geöffnetes Neuland lassen bald seltsam spezialisierte Relikte zurück, bald bieten sie einer sprungbereiten Synusie unbegrenzte Möglichkeiten der Ausbreitung und Vermehrung.

Aber immer wieder greifen tellurische Kräfte in den Gang dieses Formenwechsels ein, und so bilden sich biologische Gegensätze aus, die einer gliedernden Stratigraphie unbesiegbare Schwierigkeiten bereiten.

Betrachten wir zunächst die Umbildung der Landflora, so ist sie nach W. Gothan vom älteren bis zum mittleren Devon von den Psilophyten beherrscht.

Im Oberdevon, das bei der Wasserwelt nur untergeordnete Formenveränderungen hervorbringt, beginnt die neue Flora der Pteridophyten und Gefäßkryptogamen, und diese Periode reicht bis in die Mitte der Permzeit. Hier, wo die Meereswelt in beständigem Übergang eine Art aus der anderen entstehen läßt, wo in größeren marinen Schichtenfolgen kaum eine scharfe Grenze zu ziehen ist, tritt eine neue Flora auf dem Festland auf, und die nacktsamigen Gymnospermen herrschen von da bis zur unteren Kreidezeit.

Und wieder ändert sich die Landflora ohne gleichzeitigen Wandel der Meeresbewohner, indem sich mit dem Cenoman die Blütenpflanzen verbreiten.

Es bedarf keiner Begründung, wie tiefgreifend hierdurch auch die von autotrophen Pflanzen lebenden Landtiere beeinflußt werden. Aber für ihre Umgestaltung gewinnt das Sonnenlicht noch höhere Bedeutung. Wir zeigten, daß die Wassertiere zwar für quantitative Lichtintensität empfindlich sind, aber daß sie keine Farbe qualitativ unterscheiden können. Nun haben die Untersuchungen von C. Hess ergeben, daß die verschiedenen Klassen der festländischen Tiere eine steigende Farbenempfindlichkeit haben und daß ihr Auge schrittweise immer größere Teile des Spektrums erkennen und unterscheiden lernt.

Der leider so früh verstorbene, ausgezeichnete Ophthalmologe faßte das Ergebnis seiner Studien in einem Brief folgendermaßen zusammen:

Bei allen wasserlebenden Tieren ist die Reaktion auf Strahlen verschiedener Wellenlänge eine erstaunlich gleichartige und deckt sich vollständig mit der des total farbenblinden Menschen. Selbst die Cephalopoden, deren Netzhaut ebenso hoch differenziert ist, wie die der Säugetiere, sind total farbenblind.

Erst bei den Landtieren tritt der Farbensinn auf, und zwar beobachtet man hier große Unterschiede. Das Spektrum ist für das Auge der Schildkröten vom kurzwelligen Ende bis Orange unsichtbar, bei den Zugvögeln bis Blaugrün. Die meisten Sauropsiden besitzen im Auge farbige Ölkugeln, die dessen Farbenempfindlichkeit bestimmen. Dagegen verhalten sich Amphibien, Eidechsen und Nachtvögel ähnlich wie der Mensch.

Es bedarf keiner Begründung, wenn wir in dieser physiologischen Umbildung der Netzhaut und des Seehügels im Gehirn eine der wichtigsten Ursachen für jenen Fortschritt sehen, der die zeitliche Entwicklung der festländischen Wirbeltiere auszeichnet.

Indem man die offenkundige Umbildung von einfacheren und unvollkommeneren Reptilien zu den zwar höherstehenden, aber einseitig differenzierten Vögeln und den so vielseitig organisierten Säugern auf

die gesamte Lebewelt übertrug, kam man zu einer irrigen Auffassung des Entwicklungsganges aller organischen Wesen.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die vorkambrischen Ahnen der Tierstämme eine andere, einfachere Organisation besessen haben, wie ihre in den geologischen Perioden verbreiteten Nachkommen. Aber wenn man immer wieder betont, daß die ältesten, geologisch bekannten, kambrischen Tiere einfacher gebaut wären wie die Bewohner der späteren Meere, so ist das ein Irrtum. Denn in der gesamten Wasserwelt vom Kambrium bis zur Gegenwart ist ein nennenswerter „Fortschritt" nirgends zu erkennen. Auch die vertebraten Fische zeigen während dieses langen Zeitraumes, trotz ihres Formenwandels, keine Entwicklung von niederen zu hohen Stufen.

Der normale Gang der geologischen Veränderungen bietet nicht jene Zwangsmittel, die allein tiefgreifende Änderungen der Lebensweise, ihrer Funktionen und damit der Morphologie der Organe hevorrufen können. Wo aber ein Mediumwechsel eintritt, da sehen wir sowohl degenerative wie progressive Umwandlungen ganzer Tierklassen.

So zerfällt das geologisch bekannte Reich des Lebens in zwei grundverschiedene Reihen, die in ihrer Umwandlung unabhängig voneinander sind, die zu ganz verschiedenen Zeiten ihre Anastrophen erleben und die nur bei Grenzüberschreitungen zum Rückschritt oder Fortschritt gedrängt werden. Das universelle Weltmeer sucht solche Gegensätze immer wieder auszugleichen — auf den isolierten Festländern aber spielt sich jenes spannende Schauspiel ab, das von Aufschwung und Tod, Blühen und Niedergang bestimmt wird.

Am deutlichsten sehen wir diese Vorgänge bei der geologischen Geschichte des Menschengeschlechts zum Ausdruck kommen.

Die alluviale Gegenwart, deren letzten Jahrtausende der stolze Mensch als „Weltgeschichte" bezeichnet, folgt auf die durch so merkwürdige Veränderungen ausgezeichnete Klima-Periode, des Diluvium.

Das antediluviale Europa hatte andere Grenzen, wie das postdiluviale Land. Breite Landbrücken führten von Nordafrika nach Italien und Spanien; Frankreich war landfest mit England verbunden, und von Norddeutschland konnte man trockenen Fußes bis nach Schweden und Finnland wandern. Ein großer See bedeckte die Provinz Posen, breite Flußtäler wanden sich zwischen offenem Hügelland und bewaldeten Mittelgebirgen. Die Alpen waren schon ein hohes Gebirge, dessen östliche Gewässer durch die Donau nach dem sumpfigen Becken von Wien strömten, während nach Westen die Abflüsse zum Rhein und mit der Rhone nach dem Mittelmeer glitten. Eichen, Buchen, Ulmen, Linden, Ahorn und Fichten bildeten dichte Wälder, zwischen denen sich die Rebe rankte und Magnolien blühten. Wasserrosen schmückten die Seen, Schilfdickichte wuchsen in den schlammigen Flüssen und Sümpfen. Herden

von Elefanten, Nashörnern, Riesenhirschen, Urstieren, Wildschweinen wurden vom Löwen und vom Bären verfolgt; auf offenem Land lebten Rudel von Wildpferden, Wildeseln und Zebras; und die Wasserläufe waren von Biber und Nilpferd bewohnt.

Von allen diesen Tieren ist das Hippopotamus unstreitig das merkwürdigste. Denn es kann nur in wasserreichen, dichtbewachsenen Flüssen leben, die niemals zufrieren.

Wenn wir nun auf dem wasserarmen Sizilien zahlreiche Nilpferdreste in alten Flußablagerungen finden, wenn solche auf dem kleinen Felseneiland Kapri, im Elsaß und bei Wiesbaden, in Frankreich, Belgien und sogar in England ausgegraben werden, dann sehen wir an Stelle des heutigen inselreichen Mittelmeeres, ein großes gebirgiges Festland mit wasserreichen Flüssen, und schließen auf ein mildes Klima bis nach Nordeuropa.

Im Sande des Neckars, in den Rollkieseln der Ilm oder der Unstrut können wir freilich keine Nilpferdknochen erwarten, aber die Reste der anderen antediluvialen Großtiere treten auch in den Ablagerungen der kleineren deutschen Nebenflüsse auf.

In einer 20 m hohen Sandgrube bei Mauer fand man zahlreiche Reste antediluvialer Tiere und in den untersten Sandschichten einen Unterkiefer mit menschlichen Zähnen, der als der älteste Menschenrest beschrieben und allgemein berühmt wurde.

In gleichalterigen Schichten wurden bei Piltdown in Südengland, zusammen mit Nilpferdknochen und roh bearbeiteten Feuersteinen, die Bruchstücke eines Schädels gefunden, von etwa 1300 ccm Gehirninhalt. Der Unterkiefer des Eoanthropus Dawsoni hat Ähnlichkeit mit dem eines Schimpansen, aber er zeigt, daß schon vor dem Diluvium eine Menschenrasse in Europa lebte, die nach ihrem Gehirnschädel einen durchaus europäischen Eindruck macht, der nur durch den scharfen Eckzahn im Oberkiefer tierähnlich wirkt. Jedenfalls fehlen beim Schädel von Piltdown die dicken Knochenwülste über den Augenhöhlen des später auftretenden Neandertalers.

In Süssenborn bei Tiefurt wird seit Jahrzehnten der Kies eines antediluvialen Ilmlaufs abgebaut, aus dem Soergel einen gewaltigen Riesenhirsch, sowie Elch, Moschusochse, Elefant, Bär und Fischotter beschrieben hat; leider war alles Suchen nach Menschenresten bisher vergeblich.

Um so wichtiger wurde die Entdeckung von R. und H. Lehmann, die im antediluvialen Unstrutkies bei Wangen eine Anzahl von Feuersteinen entdeckten, die unzweifelhaft künstlich bearbeitet sind. Sie müssen von dem präglazialen Urmenschen nördlich des Harzes gesammelt und nach Thüringen gebracht worden sein.

Bei Beginn des Diluvium wurde nun über das ganze Gebiet, von Skandinavien bis nach der Saale, und von den Alpen bis zur Donau eine Eisdecke ausgebreitet.

In der Regel liegen zwei Decken von Geschiebelehm übereinander, oft sogar eine noch größere Zahl; und da zwischen diesen Lehmdecken, interglaziale Ablagerungen liegen, muß das nordische Eis mindestens zweimal bis nach Deutschland vorgedrungen sein.

Da die diluvialen Gletscher aus großen Schneelagern entstanden, sehen wir ihre eigentliche Ursache in einer größeren Verdunstung der Flächen des tropischen Meeres. Auch die bodenständige Flora der Interglazialzeit spricht für ein mildes Klima.

Bei Weimar sind die Blätter von Buchen, Linden und Eichen, Haselnüsse und Wildäpfel, Heckenrose, Herbstzeitlose, Seerose, und sogar die Stechpalme gefunden, und bei Höttingen, 600 m über Innsbruck gediehen großblätterige kaukasische Alpenrosen und der immergrüne Buchsbaum.

Riesige Elefanten, nahe verwandt mit dem heutigen Bewohner der afrikanischen Wälder, Rhinozeronten, deren Verwandte ebenfalls in Afrika leben, Löwe und Hyäne lassen deutlich erkennen, daß eine afrikanische Tierwelt nach Europa einwanderte. Bald erscheinen auch große Tierscharen aus Osteuropa und Asien. Das mit dem indischen Elefanten so nahe verwandte Mammut tritt in großen Herden auf; Wildesel, Wildpferd, Bison, Wolf und Saigaantilope bevölkern mit zahllosen kleineren Steppentieren das offene Land.

Wenn wir uns erinnern, daß die großen Eisdecken aus Skandinavien nach Deutschland vordrangen, so werden wir verstehen, daß zwischen den afrikanischen und asiatischen Fremdlingen auch zahlreiche Tiere des Nordens erscheinen: Moschusochse und Elch, Renntier und Bär, Lemminge und Füchse bilden die seltsame Mischung der interglazialen Tierwelt.

Man hat oft versucht, an einzelnen Fundorten die übereinander gelagerten Reste solcher, aus ganz verschiedenen Ländern stammender Tiere als Ausdruck von Klimaschwankungen zu deuten und anzunehmen, daß jede neue Fauna einer grundsätzlichen Änderung der äußeren Umstände entspräche. Aber wenn wir die tiergeographischen Lebensgenossenschaften als biologische Synusien betrachten, die schon in ihrer fernen Heimat miteinander lebten und aneinander angepaßt waren — dann sehen wir in dem regellosen Wechsel der afrikanischen, asiatischen und nordischen Formen in den deutschen Diluvialprofilen nur das sich beständig wandelnde Bild verschiedener, durch große Naturkräfte aus ihrer Heimat vertriebener Faunen, deren Elemente bald regellos gemischt wurden, bald sich in ihren versprengten Pionieren immer wieder zusammenfanden.

Die geographischen und bionomischen Zustände der Gegenwart lassen überall ein Gleichgewicht der Naturkräfte und dadurch bedingt auch ein Gleichgewicht der Organismenwelt erkennen. Die Klimazonen sind festgelegt durch die Lage der Pole; die Niederschläge schwanken nur wenig um ihre normale Mittelzahl; Gletscher und Flüsse haben ihren Lauf dem Gelände angepaßt; die Florengebiete lassen sich leicht umgrenzen und selbst die freibeweglichen Tiere leben an tiergeographisch gesonderten Standorten.

Dieses Gleichgewicht wurde während der ganzen Diluvialzeit immer wieder gestört: Sümpfe verwandelten sich in Schneefelder, Flüsse in Gletscher, Wälder starben und ganze Faunen gingen mit ihnen zugrunde. Dann setzte der umgekehrte Vorgang ein: Nebel und Sonnenschein tauschten die Plätze; fruchtbarer Boden wurde schneefrei und lockte zu rascher Besiedelung; tiergeographische Wanderstraßen öffneten ihre Tore und überall ergoß sich die bunte Flut des Lebens.

Wir haben darauf hingewiesen, wie oft in der Erdgeschichte mitten zwischen endemischen bodenständigen Faunen transgredierend eine neue bodenfremde Lebewelt erscheint. Auch die Interglazialzeit von Mitteleuropa ist durch einige plötzlich auftretende neue Leitformen leicht wiederzuerkennen: den afrikanischen Elephas antiquus und den Neandertaler Urmenschen, den man wegen seiner Lebensweise auch vielfach den Elefantenjäger nennt.

Wir kennen heute etwa 25 mehr oder weniger vollständige Skelette, die von Spanien bis nach Mähren verbreitet sind. Unter ihnen haben zwei Fundorte ganz besondere Bedeutung: die Schädel von Gibraltar und ein im letzten Jahre in der Räuberhöhle am See Tiberias gefundenes Exemplar. Denn sie zeigen uns die Brücken, auf denen der Elefantenjäger mit seinen Jagdtieren nach Europa einwanderte. Für seine afrikanische Vorgeschichte bieten uns die Schotter des Nilsees von Theben bei Qurna wertvolle Funde. Hier schlug der diluviale Mensch seine Klingen, Schaber und Waffenstücke einer uralten afrikanischen Steinzeitkultur.

Obwohl etwa 25 Schädel des interglazialen Menschen und eine Anzahl vollständiger Skelette bekannt sind, weichen dieselben doch in einzelnen Charakteren so voneinander ab, daß manche Anthropologen in jedem Fund den Vertreter einer anderen Rasse sehen.

Aber wir müssen bedenken, daß der afrikanische Elefantenjäger beim Betreten von Europa hier schon eine einheimische diluviale Bevölkerung vorfand, die große Verwandtschaft mit dem antediluvialen Europäer zeigt und deren ältere Vertreter man nach einem französischen Fundort die Rasse von Cro Magnon nennt, während jüngere Funde nach ihrer Verbreitung im diluvialen Löß als Lößmenschen bezeichnet werden.

Wenn wir uns erinnern, daß die Frauenskelette aus dem Massengrab von Předmost zu diesem variablen Typus gehören, so liegt es nahe, in den vielen abweichenden Charakteren dieser Funde die Wirkungen der häufigen Kreuzungen zwischen eingewanderten Afrikanern und europäischen Frauen zu sehen.

Man hat wiederholt versucht, den Neandertaler nachzubilden; aber ich vermisse bei allen diesen Rekonstruktionen drei wesentliche Eigenschaften, die man allerdings an seinen Knochen nicht mehr sehen kann: die dunkle Hautfarbe, die wulstigen Negerlippen und das krause Haar. Diese Eigenschaften haben gewiß mehr als die niedrige Stirn und die dicken Augenwülste den äußeren Habitus des wilden Jägers bestimmt und ihn überall seinen einheimischen Gegnern kenntlich gemacht.

Schon am ersten Neandertaler Schädel erkannte Virchow die krankhaften Deformationen, die eine in der Jugend überstandene Rachitis und eine Altersgicht hinterlassen hatten. Der linke Arm war steif geworden, und mehrere Schädelverletzungen sprechen für ein von Kämpfen erfülltes Leben. Auch die Schädel von Krapina zeigen ähnliche Deformationen.

Wenn wir somit im warmen Rheinland wie in den rauhen Bergen Kroatiens dieselben Krankheitserscheinungen finden, liegt es nahe, nach einer gemeinsamen Ursache zu suchen, weshalb die gewalttätigen Afrikaner nach kurzer Herrschaft am Schlusse der Interglazialzeit in Europa überall verschwinden. Wir sehen sie in den großen Moränendecken der letzten Eiszeit.

Zweimal waren die gewaltigen Eisdecken von Skandinavien über das baltische Land bis nach Deutschland gekommen. Das erstemal vertrieben sie die antediluviale Fauna mit dem Nilpferd, das zweitemal vernichteten sie die afrikanischen Elefanten und Rhinozeronten und mit ihnen den Neandertaler.

Als die große Zwischeneiszeit das weite Land von den Alpen bis nach Norwegen schnee- und eisfrei gemacht hatte, als ein warmes Klima die Einwanderung zahlreicher Pflanzen und Tiere des Südens begünstigte, folgte auch der europäische Mensch dem schwindenden Eisrand, und der Norden wurde zum erstenmal von Deutschland aus besiedelt.

Mit der letzten Eiszeit begann wieder die südwärts gerichtete Wanderung des seßhaft gewordenen und dadurch höher entwickelten Menschen.

So ordnet sich auch der Mensch zunächst unter die Gesetze, welche alles irdische Leben beherrschen, und doch erkennen wir, wie er dann seine Schicksale mit eigener Willenskraft auf neuer Grundlage aufbaute.

Der antediluviale Ahne unseres Geschlechts war unter einem milden Klima noch ein integrierender Bestandteil der pliozänen Fauna. Er hatte nicht die Machtmittel, der ihn umgebenden Natur entgegenzutreten. Mit seinen Lebensgenossen abhängig von Klima und Standort, wanderte und rastete er unter dem eisernen Gesetz mächtiger Naturkräfte.

Aber schon der Fund von Wangen zeigt ihn uns als Einzelwesen und ohne die Knochen der präglazialen Tierwelt; die roh bearbeiteten Steinwerkzeuge deuten auf eine primitive Kultur, aber ohne die Kunst des Feuers. Wir möchten diesen präglazialen Bewohner Deutschlands und Englands den Wildläufer nennen, denn wie das Wild lebte er noch in biologischer Abhängigkeit von der belebten und der unbelebten Natur.

Mit den afrikanischen Elefanten und Rhinozeronten erscheint während der Diluvialzeit der Neandertaler Elefantenjäger auf europäischem Boden und wird rasch der allmächtige Herr. Das Jagdfeuer und das Lagerfeuer kennzeichnen seine Kultur.

In zähem Ringen suchte sich der einheimische Mensch seiner Übermacht zu erwehren, aber er mühte sich vergeblich gegen tierische Gewalten. Da kam ihm die Natur zu Hilfe. Denn wieder wuchsen die nordischen Schneedecken und wieder schoben sich die kältebringenden Eisdecken über das Ostseeland bis in die deutschen Gaue.

Der erbitterte Kampf gegen die schwarzen Eindringlinge und das Ringen mit übergewaltigen Naturkräften, mit Eis und Kälte, Nebel und Sturm, hätte schwächere Naturen vernichtet — aber gerade in solch schwerem Ringen mit übermächtigen Gegnern, bewährte sich des diluvialen Europäers innere Kraft.

Nicht mit Unrecht hat man dem Urvater der Menschheit den Feuerbrand in die Hand gegeben. Denn nur das selbsterzeugte und am eigenen Herd gehütete Feuer half dem Menschen die Schrecken des großen Weltwinters zu überstehen und so wird die Herdflamme zum Symbol der neuen Zeit. In deren sicherem Schutze entwickelte sich das natürliche Verhältnis zwischen Mutter und Kind, das ich als das Urphänomen der Menschheit bezeichnen möchte.

Während die im Dunkeln wachsenden Pflanzen ihr Chlorophyll verlieren und die Augen der Höhlentiere verkümmern, finden wir gerade in den vom diluvialen Menschen bewohnten Höhlen die überraschenden Zeichen einer höheren Kultur.

Man erkennt deutlich, wie der Urmensch in den nur künstlich zu erleuchtenden Höhlen seinen Natursinn, seine Gestaltungskraft und seine Erinnerungsbilder formte.

Der künstlich erzeugte Feuerbrand mit seinen Wärme- und Lichtstrahlen begleitet auch die weitere Entwicklung des Menschen, und nachdem er die in den rezenten Pflanzen enthaltenen latenten Kräfte ausgenutzt hatte, begann er seine weitere Kultur auf den fossilen Pflanzen der Karbon- und Tertiärzeit aufzubauen. In die „künstlichen Höhlen" unserer Häuser, wo wir uns vor der Kälte des Weltenraumes schützen, haben wir Kraft-, Wärme- und Lichtquellen hineingeleitet, die der heutigen Zeit ihr Gepräge geben.

Aber der Kulturmensch hat sich nicht nur frei gemacht von den für alles Leben so notwendigen Sonnenstrahlen, sondern auch Raum und Zeit, deren eiserne Gesetze die Schicksale aller übrigen Lebewesen bestimmen, sind von ihm überbrückt und verkürzt worden, so daß wir in dieser freien Beherrschung der natürlichen Umwelt den eigentlichen Fortschritt unseres Geschlechts sehen dürfen.

Literatur

Broili, F., Übersicht über die Entwicklung der Tiere im Laufe der Erdgeschichte. In Salomon, Grundzüge der Geologie II, S. 485. — Dacqué, Edgar, Grundlagen und Methoden der Paläogeographie. Jena 1915. — Franz, V., Zweckmäßigkeit und Vervollkommnung. Naturw. Wochenschr. 1920. S. 167. — Gothan, Walther, Pflanzenleben der Vorzeit. Breslau 1926. — Grabau, W. A., A Textbook of Geology. — Henning, H., Pflügers Archiv 1920. S. 91. — Hess, C., Der Gesichtssinn. In Winterstein, Handb. der vergl. Physiologie. — Johnston, H., The australian prickley-pear problem. Rep. Australarian Ass. for the Adv. of Science 1923, S. 347. — Osborn, F. H., The Age of Mammals in Europe, Asia And North Amerika. 1910. — Plate, O., Selektionsprinzip und Probleme der Artbildung. 1913, S. 38. — Rickerts, H., Die Grenzen der naturw. Begriffsbildung. Tubingen 1913. — Stahl, Ernst, Zur Biologie des Chlorophylls. Jena 1909. — Verworn, Max, Allgemeine Physiologie. Jena 1895. — Walther, J., Geschichte der Erde und des Lebens. Leipzig 1908. — Walther, J., Die Urheimat des nordischen Menschen. Halle 1926. — Walther, J., Fortschritt und Rückschritt im Laufe der Erdgeschichte. Verh. der Ges. Deutscher Naturforscher und Ärzte 1922.

Sachregister

Verbesserungen:

S. 686 Z. 19 v. o. statt Forstebene lies Fastebene
S. 720 Z. 13 v. u. statt Erdsees lies Endsees

Buchdruckerei des Waisenhauses in Halle (Saale).


QE711
.W23
Walther
Allgemeine palaeontologie
839510
Roy Graham
Snell Hall
a. C. Noé
Wayland Hand
O27 31
F5'34
Ag 1'36
22'34
*12'37

